

PUBLICATION NUMBER : 11341757
 PUBLICATION DATE : 10-12-99

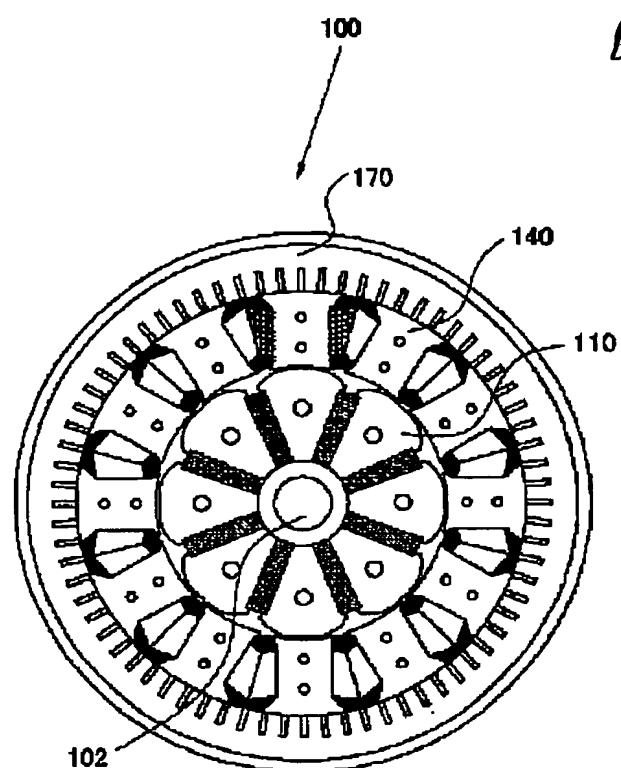
APPLICATION DATE : 21-05-98
 APPLICATION NUMBER : 10158382

APPLICANT : TOYOTA MOTOR CORP;

INVENTOR : IGA KIYOSHI;

INT.CL. : H02K 16/02 B60L 11/14

TITLE : MOTOR, POWER TRANSMISSION APPARATUS, AND HYBRID VEHICLE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To downsize a device for a motor having two rotating shafts, capable of rotating relative to each other.

SOLUTION: This motor is constituted by disposing an inner rotor 110, a stator, and an outer rotor 170 concentrically from its center. Both rotors are relatively rotatably-connected to two rotating shafts. The inner rotor 110 is a permanent magnet containing type rotor, and the outer rotor 170 is a wound rotor. In the stator, a plurality of independent cores wound concentratedly are disposed in a circumferential form, and a section between adjacent cores is fixed through resin-molding. The stator has a yoke-free structure. A magnetic circuit penetrating from the inner rotor 110 through the stator to the outer rotor 170 is formed in the motor, energization for the stator is controlled by one drive circuit to control the operation of the motor. It is thus possible to use the motor as a power transmission device, which transmits power from one rotating shaft to the other.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(51) Int.Cl.⁶
H 0 2 K 16/02
B 6 0 L 11/14

識別記号

F I
H 0 2 K 16/02
B 6 0 L 11/14

審査請求 未請求 請求項の数21 FD (全 36 頁)

(21)出願番号 特願平10-158382

(22)出願日 平成10年(1998)5月21日

(71)出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町1番地(72)発明者 富田 雅明
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内(72)発明者 水谷 良治
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内(72)発明者 伊賀 清
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

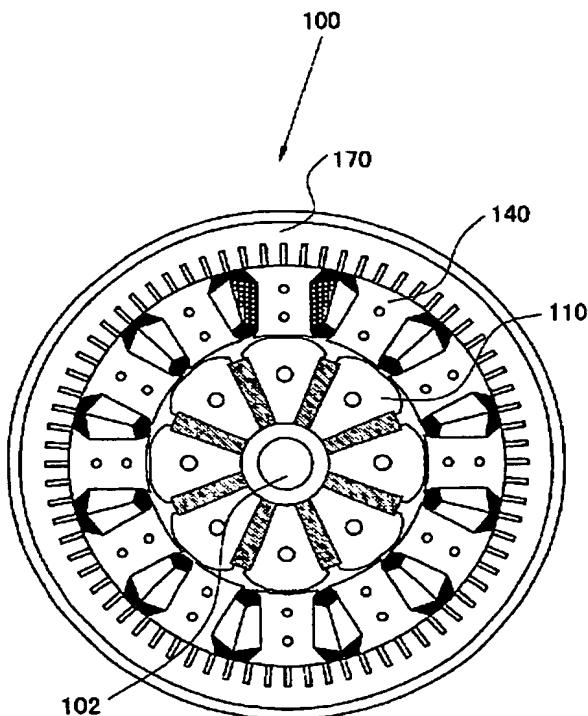
(74)代理人 弁理士 下出 隆史 (外2名)

(54)【発明の名称】電動機および動力伝達装置並びにハイブリッド車両

(57)【要約】

【課題】2つの回転軸を有する電動機では、2つの駆動回路およびスリップリングが必要であった。

【解決手段】中心から同心円状にインナロータ、ステータ、アウタロータを配置して電動機を構成する。両ロータを相対的に回転可能に2つの回転軸に結合する。インナロータは永久磁石内包型ロータとし、アウタロータは巻線型ロータとする。ステータはコイルを集中巻きした独立のコアを複数円周状に配置し、隣接するコア間を樹脂モールドにより固定する。ステータはヨークがない構造となる。かかる電動機ではインナロータからステータを貫通してアウタロータに至る磁気回路が形成され、一つの駆動回路でステータへの通電を制御することにより電動機の運転を制御することができる。この電動機は一方の回転軸から他方の回転軸に動力を伝達する動力伝達装置として用いることができる。



前記制御手段は、
前記ステータの巻線に流れる電流を制御することによって、前記ステータと前記第2のロータ間で正のトルクを生じさせる手段である動力伝達装置。

【請求項17】 請求項14記載の動力伝達装置であって、

前記制御手段は、
前記入力軸から入力される動力の一部を、前記ステータを介して電力として回生し、残余の動力を前記出力軸に伝達する手段である動力出力装置。

【請求項18】 請求項14記載の動力伝達装置であって、
さらに前記入力軸および出力軸の回転数の差を検出する検出手段を備え、

前記電動機は、
前記第1のロータは、永久磁石を備えたアウタロータ、前記第2のロータは、前記ステータとの間でかご型誘導機を形成可能なインナロータとし、
前記インナロータのさらに内側には、該インナロータに拘束されずに回転可能な状態および該インナロータと一体として回転可能な状態のいずれかを採りうる永久磁石を備えた電動機であり、
前記制御手段は、前記制御に加えて、

前記検出手段により検出された回転数の差の絶対値が所定の値以下である場合には前記インナロータの内側に備えられた永久磁石を該インナロータと一体として回転可能な状態する手段である動力伝達装置。

【請求項19】 請求項14記載の動力伝達装置であって、

前記電動機は、
前記第1のロータまたは第2のロータのうち内側に位置するインナロータとして、永久磁石を備えたロータを前記入力軸および出力軸の方向に直列に配置された2つのロータを有し、

かつ該2つのロータの位置関係を前記入力軸および出力軸の周方向に変更可能であることを特徴とする電動機であり、

前記制御装置は、前記制御に加えて、
前記入力軸から入力されるトルクの大小に応じて、前記インナロータと前記ステータとの磁気的な結合の強弱が変化するように前記2つのロータの位置関係を変更させる手段である動力伝達装置。

【請求項20】 請求項14記載の動力伝達装置であって、

前記電動機の前記第1のロータまたは第2のロータのうち一方は、巻線が巻回された巻線型ロータであり、
該巻線型ロータに巻回された巻線に流れる電流を制御することによって、該巻線型ロータに生じる磁界と前記磁気回路との相互作用を制御するロータ制御装置を備える動力伝達装置。

【請求項21】 原動機と、該原動機の回転軸および車輪を有する駆動軸に結合された請求項14記載の動力伝達装置とを備え、少なくとも前記原動機から出力される動力によって走行可能なハイブリッド車両。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、同軸上に配置された相対的に回転可能な2つの回転軸を有する電動機および該電動機を用いた動力伝達装置並びにハイブリッド車両に関する。

【0002】

【従来の技術】 2つの回転軸を有する電動機は、種々の目的に使用されている。その一つとしてハイブリッド車両の動力伝達装置としての用途がある。かかるハイブリッド車両の構成として、例えば図55に示すものがある。図55は、エンジンEG、クラッチモータCM、アシストモータAMを備え、エンジンEGからの動力によって走行可能なパラレル型のハイブリッド車両の一構成例を示している。クラッチモータCMとはアウタロータROとインナロータRIの両者が相対的に回転可能な対ロータ電動機である。図示するようにクラッチモータCMは、アウタロータROにエンジンEGの出力軸が結合され、インナロータRIに駆動軸DSが結合されている。駆動軸DSには減速ギヤ等を介して駆動輪が接続されている。図55では駆動輪の図示は省略した。また、駆動軸DSにはアシストモータAMのロータRが結合されている。アシストモータAMは同期電動機であり、そのステータSはケースに固定されている。なお、クラッチモータCMのインナロータRIとアシストモータAMのステータはそれぞれコイルが巻回されており、駆動回路DC1、DC2を介してこのコイルに通電することにより、それぞれのモータの運転を制御することができる。

【0003】 上記構成を有するハイブリッド車両では、クラッチモータCMのアウタロータROとインナロータRIとの間の相対的な滑りによって、エンジンEGから出力された動力の一部を電力として回生するとともに、残余の動力をインナロータRI側、即ち駆動軸DSに伝達することができる。また、回生された電力を用いてアシストモータAMを駆動し、駆動軸DSに動力を付加する。こうした作用により、上記ハイブリッド車両では、エンジンEGから出力される動力を種々の回転数およびトルクに変換して駆動軸DSから出力して走行する。このように2つの回転軸を有するクラッチモータCMにアシストモータAMを結合することにより、動力伝達装置を構成することが可能である。

【0004】 図55で示した構成では、上述したトルク変換を行うために、クラッチモータCMとアシストモータAMの2つの電動機を要し、装置のサイズが大きくなるという欠点があった。かかる欠点を解消し装置の小型

化を図るための技術として、クラッチモータCMとアシストモータAMとを同軸上に配置したものも提案されている（例えば、特開平9-46815記載の技術）。かかる構成に基づく電動機の断面図を図56に示す。図示する通り、この電動機は、回転軸の周りにコイルを巻回した第1ロータ1210を備え、その外側に永久磁石を貼付した第2ロータ1310を備え、さらに外側にコイルを巻回したステータ1410を備えている。第1ロータ1210と第2ロータ1310は相対的に回転可能である。第1ロータ1210と第2ロータ1310とがクラッチモータCMのように作用し、第2ロータ1310とステータ1410とがアシストモータAMのように作用する。かかる作用によりこの電動機単独で上述したトルク変換が可能である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図56に示した構成からなる電動機では軸方向の小型化を図ることは可能であるが、径方向の小型化を十分に図ることができなかつた。つまり、動力伝達装置全体の体積を十分に小さくすることはできず、装置の重量も十分に低減することができなかつた。

【0006】また、従来の2つの回転軸を有する電動機では、回転するロータに電力を供給する必要があった。かかる電力の供給はスリップリング又は差動トランス等を介して行われるが、スリップリングを用いた場合には耐久性が低いという課題があり、差動トランスを用いた場合には効率が低いという課題があった。かかる課題は、図55に示したクラッチモータCMおよび図56に示した電動機において共通していた。

【0007】さらに、従来の2つの回転軸を有する電動機を用いて動力伝達装置を構成する場合には、その駆動を行うための駆動回路が少なくとも2つ必要であった。例えば、図55に示したように、クラッチモータCMとアシストモータAMとの組み合わせにより動力伝達装置を構成する場合、それぞれのモータを駆動するためには駆動回路DC1、DC2の2つの駆動回路が必要であった。また、図56に示した電動機においても、第1のロータ1210に電力を供給するための駆動回路と、ステータ1410に電力を供給するための駆動回路の2つが必要であった。このことは、装置の構成を複雑するとともに、サイズや重量の増加という問題も生じていた。

【0008】本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、相対的に回転可能な2つの回転軸を有した電動機について装置の小型化を図ることを第1の目的とする。また、スリップリングなど回転するロータへの電力を供給する部材を不要とすることを第2の目的とする。さらに、駆動回路を減少した電動機を提供することを第3の目的とする。そして、かかる電動機を用いた装置として、一方の回転軸から他方の回転軸に動力を伝達する動力伝達装置およびハイブリッド車両を提供すること

を目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段およびその作用・効果】上記課題の少なくとも一部を解決するために本発明では次の構成を採用した。本発明の第1の電動機は、相対的に回転可能な2つの回転軸を同軸上に備えた電動機であつて、磁気回路の形成に寄与する要素たる磁気要素を、前記回転軸を中心として同心円状に内側から第1の磁気要素、第2の磁気要素、第3の磁気要素の順に備え、前記2つの回転軸は、前記第1ないし第3の磁気要素のうちいずれか2つの磁気要素にそれぞれ結合されており、前記第1の磁気要素から前記第2の磁気要素を貫通して前記第3の磁気要素に至る磁気回路を形成可能に各磁気要素を構成したことを特徴とする。

【0010】かかる電動機によれば、上述した3つの磁気要素を同軸上に備えることにより、第1の効果として装置全体のサイズを小さくすることができる。本発明における磁気要素とは、いわゆるロータおよびステータの総称であり、永久磁石を用いたもの、コイルを巻回したもの、いわゆるかご型ロータ等、磁気回路の形成に寄与する種々の要素が含まれる。また、第1ないし第3の磁気要素には2つのロータおよび1つのステータが含まれることになるが、いずれの磁気要素がステータに対応していくてもかまわない。具体的には、内側から「ロータ、ロータ、ステータ」と配置したもの、「ロータ、ステータ、ロータ」と配置したもの、「ステータ、ロータ、ロータ」と配置したものの3種類が存在する。

【0011】本発明の電動機によれば、上述の効果に加えて、第2の効果として電動機の運転を行うための駆動回路を一つに減らすことも可能である。駆動回路が減ることによって、装置全体のサイズ、重量等をさらに減少させることができる。上記第1の効果および第2の効果について従来技術としての電動機（図56）との比較で説明する。

【0012】図56に示した従来の電動機では、回転軸の内側から第1のロータ1210、第2のロータ1310、ステータ1410の順に配置されている。第2のロータ1310は、磁性体で形成されたロータヨークの内周面および外周面にそれぞれ永久磁石1220、1420が貼付されている。かかる構造を有する電動機では、磁気回路は図56中に図示するMin、Moutのように形成される。第1のロータ1210を貫通する磁気回路Minは第2のロータ1310のロータヨーク部を円周方向に通過し、再び第1のロータ1210に戻る。ステータ1410を貫通する磁気回路Moutは第2のロータ1310のロータヨーク部を円周方向に通過し、再びステータ1410に戻る。第1のロータ1210から出た磁束のうちステータ1410に至る磁束はほとんど存在しない。このような電動機を駆動するためには、磁気回路Min、Moutの位置および強さを制御する必

要がある。図56に示したように両者が独立した2つの回路を形成する場合には、それぞれの磁気回路に対して駆動回路が必要となる。この結果、図56に示した電動機では駆動回路が2つ必要となっていたのである。また、このように2つの磁気回路を形成するために、間に存在するロータ1310にはロータヨーク部が必要となり、装置の径方向のサイズを増大することになっていた。

【0013】一方、本発明の電動機によれば、回軸の内側から第1の磁気要素、第2の磁気要素、第3の磁気要素の順で配置されている。そして、これらの磁気要素は、最も内側に位置する第1の磁気要素から第2の磁気要素を貫通して、最も外側に位置する第3の磁気要素に至る磁気回路を形成可能に構成されている。つまり、本発明の電動機における磁気回路は、図56に示した電動機の場合のように分離して形成されることなく、第1の磁気要素から第3の磁気要素に至る一つの回路として形成される。本発明の電動機の駆動を制御するためには、こうして形成された一つの磁気回路を制御すればよい。従って、本発明では電動機の駆動に要する駆動回路を一つに減らすことができる。もちろん、これは最低限必要な駆動回路を一つに減らすことができるこを意味するものであって、2以上の駆動回路を用いて駆動することもできる。そして、このように磁気回路が周方向に通過する部分を有しないように第2の磁気要素を構成することにより、装置全体のサイズを小型化することができる。当然、駆動回路を減らすことができる点も装置全体のサイズの小型化に寄与する。

【0014】本発明の第2の電動機は、相対的に回転可能な2つの回軸を同軸上に備えた電動機であって、前記回軸を中心として同心円状に内側から第1のロータ、ステータ、第2のロータの順に備え、前記第1のロータは、前記回軸の一方に結合されており、前記第2のロータは、前記回軸の他方に結合されており、前記ステータは、複数のコアを円周状に配置し、該円周方向に隣接するコア間を非磁性体で結合して形成されたことを特徴とする。

【0015】かかる電動機によれば、上述した第1の電動機と同様、装置全体のサイズを小さくすることができ、また、駆動回路を減らすこともできる。さらに、本発明の電動機では、以下に示す理由により駆動のための制御が容易であるという利点も有する。

【0016】本発明で提案しているような2つのロータを有する電動機の運転を制御することは、この2つのロータの回転状態を制御することに他ならない。本発明は、一つの駆動回路を制御することにより磁気回路の形成を制御して、これらの2つのロータの回転状態を制御することができるものである。この場合に、例えば回軸の内側から「第1のロータ、第2のロータ、ステータ」の順に配置すれば、第1のロータの制御によって、

第2のロータにその反作用が現れる。また、第1のロータとステータとは離れているため、ステータ部分で磁界を制御して第1のロータの回転を制御するためには、多大なエネルギーを要することになり効率が悪い。当然、この際に第2のロータの回転状態にも大きな影響を与えることになる。これに対し、本発明の電動機では、ステータを挟んで内側と外側にロータを配置しているため、上述の問題なくそれぞれの回転を制御することができる。

【0017】なお、従来は最も外側にステータを配置した電動機しか提案されていなかった。これは、電動機をケース等に固定する便宜を考慮したものと思われる。しかし、最外郭がロータで形成されている場合であっても、軸受けを用いるものとすればケースに固定することはそれほど困難ではない。本発明者はかかる観点から、2つの回軸を有する電動機の最外郭がステータであるべきとする固定観念を取り払い、従来は適用することが想定されていなかった新たな構造を採用するに至った。この結果、本発明の電動機は上述した効果を得ることができたのである。

【0018】さらに、本発明の電動機はステータの構造にも大きな特徴がある。従来、ステータはリング状のヨーク部と複数の突極からなるコアにコイルを巻回して形成されていた(図56のステータ1410参照)。これに対し、本発明のステータは、図56における突極に相当する複数のコアを円周状に配置し、それぞれのコア間を非磁性体により結合して成形している。つまり、リング状のヨーク部が存在しない。従って、本発明の構造を有するステータによれば、円周方向には磁気回路が形成されない。つまり、ステータに形成される磁気回路は径方向に貫通することになる。この結果、ステータの内側に位置する第1のロータからステータを貫通して、外側に位置する第2のロータに至る磁気回路が形成され、上述した種々の効果を得る電動機を形成することができる。

【0019】ステータのコア間の結合はいかなる非磁性体を用いるものとしても構わない。各コアを固定することが可能であれば、各コア間を空隙としておくことも可能である。非磁性体による結合の好適な例として、前記ステータは前記コア間を樹脂モールドにより固定したものが挙げられる。こうすれば、ステータを容易に製作することができる他、ステータの剛性が増すという利点もある。

【0020】上記発明で提案したステータの構造、即ちヨーク部が存在しない構造も本発明者により案出された全く新しい構造である。上述した通り、従来はヨーク部に突極を設けた構造が採用されていた。これは磁束を外部に逃がさないことにより電動機を効率的に駆動するために、ステータの円周方向にも磁気回路を形成することが望まれていたためであった。また、ヨークを有することによりステータの形成が容易になるためでもあった。

これに対し、本発明では先に述べた通り、第1のロータからステータを貫通して、第2のロータに至る磁気回路を形成する必要があった。つまり、本発明ではステータの円周方向に磁気回路が形成されることを回避する必要があった。本発明者はかかる観点から、ステータにはヨーク部が存在するものという固定観念を取り払い、各コアをヨーク部なしで固定するという全く新たな構造を採用することに重要な意義を見いだした。ヨーク部なしでステータを形成する構造は想像しがたいものであったが、非磁性体、とりわけ樹脂モールドにより固定するという可能性に気づき、本発明の構成を案出したのである。

【0021】また、本発明の電動機において、前記ステータは複数のコアに巻回されたコイルを有し、該コイルに通電することにより磁界を生じ得るステータであり、前記第1のロータおよび第2のロータのうち一方のロータは、永久磁石を備えたロータであり、前記第1のロータおよび第2のロータの他方のロータは、前記ステータと誘導機を構成し得る構造を有するロータであるものとすることもできる。

【0022】かかる構成からなる電動機によれば、第1のロータおよび第2のロータには電力を供給する必要がない。電力の供給を要するのは、固定されたステータに巻回されたコイルのみである。従って、上記発明の電動機では、電力供給のためのスリップリングが不要となり、耐久性が大きく向上する。

【0023】ここで、前記コイルは、前記ステータに備えられたコアに集中巻きされたものとすることが望ましい。ステータのコイルには種々の巻回方法があり、複数のコアにまたがって巻回する分布巻きとすることも可能である。種々の巻回方法のうち、いわゆる集中巻にすれば、ステータの製造が非常に容易になるという利点がある。つまり、最初に各コアに対し独立してコイルを巻回し、その後、コイルを巻回したコアを円周状に配置して固定することによりステータを形成することができる。

【0024】上記発明において、前記第1のロータおよび第2のロータに採用可能な構造として種々の構造が考えられる。例えば、本発明の電動機の第1の形態として、前記一方のロータは、放射状に配置された永久磁石を備えるものとができる。

【0025】かかる電動機では、例えばステータにより回転磁界を発生させれば、該磁界に応じて永久磁石を備えたロータは同期機として回転する。こうした機能を奏するために、永久磁石は周知の種々の方法によりロータに配置することも可能である。例えば、ロータの外周面に貼付するものとしてもよいし、外周面近傍に円周方向に設けられた孔に永久磁石を挿入するものとしてもよい。種々可能な配置のうち、上記発明に挙げるよう、永久磁石を放射状に配置すれば、該ロータを貫通する磁力線を有效地に活用でき、電動機を効率よく運転すること

が可能となる利点がある。なお、放射状とは、永久磁石の径方向の長さの方が円周方向の長さよりも長い状態で配置されていることを意味する。

【0026】本発明の第2の形態として、前記他方のロータは、前記ステータと巻線型誘導機を構成可能な構造を有するロータであるものとすることができる。また、前記他方のロータは、前記ステータとかご型誘導機を形成可能な構造を有するロータであるものとすることもできる。

【0027】他方のロータとして上記構造を適用すれば、ステータに回転磁界を発生させると、誘導機としてこのロータが回転する。また、上述した「一方のロータ」との間でも誘導機として機能し得るから、例えばこの一方のロータを外力により回転させればそれに応じて本発明の他方のロータも回転することができる。この結果、故障その他の理由によりステータに電流を流すことができない場合であっても、一方のロータの回転に応じて他方のロータを回転させることができるとする利点も得ることができる。

【0028】本発明の電動機の第3の形態として、前記他方のロータは前記第1のロータであり、前記第1のロータのさらに内側には、切り替えにより該第1のロータに拘束されずに回転可能な状態および該第1のロータと一体として回転可能な状態のいずれかを採りうる永久磁石を備えるものとすることもできる。

【0029】かかる構成を有する電動機によれば、第1のロータを誘導機および同期機の双方の状態で回転させることができる。上述の永久磁石を第1のロータに拘束されずに回転可能な状態とすれば、第1のロータはステータとの間で誘導機として機能する。一方、永久磁石を第1のロータと一体として回転可能な状態とすれば、第1のロータはステータとの間で同期機として機能する。第1のロータが誘導機として機能する場合には、その性質上、第1のロータの回転速度は回転磁界の回転速度よりも遅くなる。上記構成によれば、第1のロータは同期機としても機能し得るため、回転磁界と同じ速度で回転することができる。

【0030】第2のロータが永久磁石を備えるロータである場合、同様の効果を第2のロータとの間でも得ることができる。つまり、第2のロータを外力等により回転させる場合、第1のロータを誘導機として機能させることにより、第2のロータよりも遅い回転速度で第1のロータを回転させることができる。一方、第1のロータを同期機として機能させることにより、第2のロータと等速度で回転させることができる。従って、第2のロータを入力軸に結合し第1のロータを出力軸に結合し、上記発明の電動機を動力伝達装置として利用した場合には、出力軸の回転可能な範囲を広くすることができる利点がある。

【0031】また、本発明の電動機として、前記第1の

ロータおよび前記第2のロータは、ともに永久磁石を備えたロータとすることもできる。

【0032】かかる構成を有する電動機では、ステータに回転磁界を生じさせると、第1のロータおよび第2のロータを同期機として回転させることができる。また、例えば外力により第1のロータを回転させると、第1のロータと第2のロータとの間の磁気的な結合により、第2のロータも回転する。両者の回転速度は基本的には同速度となるが、ステータに生じる磁界を制御することにより、両者間で相対的に滑りをもった回転速度とすることもできる。

【0033】本発明の電動機として、前記第1のロータとして、永久磁石を備えたロータを前記回転軸の方向に直列に配置された2つのロータを有し、該2つのロータの位置関係を前記回転軸の周方向に変更可能であることを特徴とするものとすることもできる。

【0034】かかる構成を有する電動機によれば、上記2つのロータの位置関係(以下、ピッチと呼ぶ)を変化させることにより、第1のロータとステータとの磁気的な結合の強さを変化させることができる。説明の便宜上、上記2つのロータをロータA、ロータBと呼ぶものとする。例えば、ロータAがステータのコイルに対向しているときを考える。このときロータAとステータとの間では非常に強い磁気的な結合が得られる。このとき、ロータAとロータBのピッチを調整してロータBもステータに対向する位置にすれば、ロータBとステータとの間でも非常に強い磁気的な結合が得られる。従って、このとき第1のロータとステータとの間では最も強い磁気的な結合が得られていることになる。この状態からロータBのピッチを変化させていけば、ロータBとステータとの結合が弱まる。従って、第1のロータとステータの結合も弱まることになる。このように上記発明によれば、第1のロータとステータとの間の磁気的な結合の強さを変化させることができ、第1のロータから出力される動力等を変化させることができる。当然、ステータにより磁界を制御することによっても第1のロータから出力される動力を制御することができる。従って、上記発明の電動機によれば、第1のロータのピッチの制御と磁気回路の制御の双方を用いることにより、幅広い範囲で第1のロータから出力される動力を制御することができる。

【0035】なお、上記発明では、インナロータとして3つ以上のロータを備えたものとしてもよい。こうすれば、第1のロータから出力される動力をさらに幅広い範囲で制御することが可能となる。

【0036】本発明の電動機として、前記第1のロータおよび第2のロータのうち一方のロータは永久磁石を備え、前記ステータと該一方のロータが、バーニアモータを形成する構造を有するものとすることもできる。

【0037】本発明の作用について第1のロータが前記

一方のロータに相当する場合を例にとって説明する。バーニアモータとは、同期モータの一種であるが、コイルが巻回されたステータの突極数と、第1のロータに備えられた永久磁石の数との関係が通常の同期モータとは異なるものをいう。通常の同期モータでは「突極数

相数=永久磁石数/2」なる関係が成立している。例えば、U、V、W相の3相交流を用いる同期モータで突極数が12である場合には、突極数/3=4であり、各相当たり4つの突極を備えていることになる。これに対し、8つの永久磁石を外周面に現れる磁極をN、S交互に配置すれば、外周面にN極が現れる磁石数は永久磁石数/2=4となる。従って、U相電流が流れる一つのU相コイルに一つのN極が対向するとき、残りのU相コイルとN極とも対向するようになる。かかる関係を維持することにより、最も効率的にモータを回転させることができるのである。しかし、その一方で、主として磁界を生じさせる電流の相の移り変わりに伴いトルクの脈動、つまりコギングトルクが生じやすい特性がある。

【0038】バーニアモータでは、上述の関係、つまり「突極数/相数=永久磁石数/2」が成立しないように突極数および永久磁石数が設定されている。具体的に三相交流を用いる場合には、「突極数/相数=永久磁石数/2±1」となる。かかる設定にすることにより一度に全てのU相コイルとN極とが対向するような状態を避けることができる。他の相のコイルについても同様である。従って、第1のロータの回転中において、ステータと第1のロータとの磁界の相互作用を平均化することができ、回転中のトルク変動を低減することができる利点がある。上記発明では、ステータと第1のロータが、こうした特徴を有するバーニアモータを形成するような構造を採用することにより、第1のロータの出力トルクの変動を低減することができる。第2のロータが上述の発明における一方のロータに相当する場合も同様である。

【0039】なお、かかる電動機において、前記一方のロータと異なる他方のロータは巻線型の誘導機を形成可能な構造を有し、該巻線は前記一方のロータおよび前記ステータからの磁束を効率的に鎖交可能に巻回されたものとすることが望ましい。

【0040】前記他方のロータのコイルを、前記一方のロータからの磁束を効率的に鎖交可能に巻回することにより、電動機の運転効率を向上することができる。かかる巻回方法は前記一方のロータの磁極数やステータのコア数等によって変化するため、実験的または解析的に求めることになる。

【0041】以上で説明した種々の形態からなる電動機を利用した装置として以下に示す動力伝達装置を構成することができる。本発明の動力伝達装置は、同軸上に備えられた入力軸および出力軸と、両者に結合された電動機と、該電動機の運転を制御する制御手段とを備え、該入力軸から動力を入力するとともに該出力軸から動力を

出力可能な動力伝達装置であって、前記電動機は、前記回転軸を中心として同心円状に、前記入力軸に結合された第1のロータと、前記出力軸に結合された第2のロータと、1つのステータとを備えるとともに、前記第1のロータ、第2のロータおよびステータの全てを通る磁気回路を形成可能に構成されており、かつ、前記ステータは電流を流すことにより前記磁気回路の強さに影響を与える巻線が巻回された電動機であり、前記制御手段は、前記ステータの巻線に流れる電流を制御することによって、前記第1のロータと、前記第2のロータとの間の磁気的な結合を制御する手段であることを要旨とする。

【0042】かかる動力伝達装置によれば、第1のロータ、第2のロータおよびステータの全てを通る磁気回路の強さ等を制御して、入力軸と出力軸との磁気的な結合の程度を調整する。この結果、入力軸からある回転数およびトルクで入力された動力を、入力時とは異なる回転数およびトルクにトルク変換した上で出力軸から出力することができる。

【0043】上述の作用は、例えば、従来技術として図55で示したようにクラッチモータCMとアシストモータAMとを組み合わせて用いることによって実現される作用と同一である。本発明の動力伝達装置によれば、従来よりも装置のサイズを小さく抑えつつ、同じ作用を実現することができる利点がある。

【0044】また、従来の動力伝達装置では、クラッチモータCMで機械的な動力の一部を電力として抽出し、この電力をアシストモータAMに供給することにより、トルク変換を実現していた。機械的な動力の一部を電力に変換したり、逆に電力を機械的な動力に変換したりすれば、それぞれの変換の際にある程度のエネルギー損失を生じる。これに対し、本発明の動力伝達装置は、入力軸に結合された磁気要素と出力軸に結合された磁気要素の磁気的な結合を制御することにより、動力の一部を電力に変換することなく、直接トルク変換して出力することができる。従って、機械的な動力と電力との変換の際に生じる損失をなくすことができ、動力を効率よく伝達することが可能となる。

【0045】なお、上記動力伝達装置におけるロータおよびステータの配置および入力軸、出力軸との結合状態については種々の構成が可能である。具体的には、回転軸内側から「ロータ、ロータ、ステータ」、「ロータ、ステータ、ロータ」、「ステータ、ロータ、ロータ」の3通りの構成が可能である。また、各構成において、内側に位置するロータと外側に位置するロータのいずれを入力軸とし、いずれを出力軸としても構わない。当然、ある運転状態では内側のロータに結合された回転軸が入力軸に相当し、別の運転状態では該回転軸が出力軸に相当するというように、運転状態に応じて入力軸、出力軸に相当する軸が入れ替わるものも含まれる。

【0046】上述した動力伝達装置は、制御手段の機能によって種々の態様で運転することが可能である。例えば、前記制御手段は、前記ステータの巻線に流れる電流を制御することによって、前記第1のロータと前記第2のロータ間で磁気回路を遮断する手段であるものとすることができる。

【0047】かかる制御手段を備える動力伝達装置によれば、入力軸から入力された動力が出力軸に伝達されないようになることができる。動力伝達装置を機械的なクラッチにおきかえて説明すれば、上記機能はクラッチの解放状態に相当する。なお、前記第1のロータと前記第2のロータ間で磁気回路を遮断する方法としては、種々の方法が考えられる。例えば、ステータの巻線に電流を流していない状態において第1のロータと第2のロータ間で生じる磁界に対し、同じ強さでかつ逆向きの磁界を生じさせる電流をステータの巻線に流す方法がある。また、ステータの巻線に電流を流すことにより、第1のロータと第2のロータ間で形成されている磁気回路の通り道を変え、両者間で磁気回路が形成されないようにする方法も可能である。

【0048】本発明の動力伝達装置を別の態様で運転するものとして、前記制御手段は、前記ステータの巻線に流れる電流を制御することによって、前記ステータと前記第2のロータ間で正のトルクを生じさせる手段であるものとすることもできる。

【0049】かかる動力伝達装置によれば、入力軸からの動力の入力がない場合であっても出力軸から動力を出力することができる。つまり、出力軸に結合された磁気要素と、ステータとを通常の電動機として、いわゆる力行運転する場合に相当する。もちろん、入力軸からの動力の入力がある場合にさらにトルクを付加して出力軸から出力することも可能である。

【0050】また、別の態様で運転するものとして、前記制御手段は、前記入力軸から入力される動力の一部を、前記入力軸および前記出力軸のいずれにも結合されていない磁気要素を介して電力として回生し、残余の動力を前記出力軸に伝達する手段であるものとすることもできる。

【0051】かかる動力伝達装置によれば、入力軸から入力された動力を出力軸にトルク変換して伝達しつつ、その一部を電力として回生することができる。回生された電力は例えばバッテリ等の蓄電手段に蓄えるものとしてもよいし、別の装置の駆動に用いるものとしてもよい。

【0052】また、本発明の動力伝達装置において、さらに前記入力軸および出力軸の回転数の差を検出する検出手段を備え、前記電動機は、前記第1のロータは、永久磁石を備えたアウタロータ、前記第2のロータは、前記ステータとの間でかご型誘導機を形成可能なインナロータとし、前記インナロータのさらに内側には、該イン

ナロータに拘束されずに回転可能な状態および該インナロータと一体として回転可能な状態のいずれかを採りうる永久磁石を備えた電動機であり、前記制御手段は、前記制御に加えて、前記検出手段により検出された回転数の差の絶対値が所定の値以下である場合には前記インナロータの内側に備えられた永久磁石を該インナロータと一体として回転可能な状態とする手段であるものとすることもできる。

【0053】かかる構成を有する動力伝達装置によれば、インナロータの内側に備えられた永久磁石の回転状態を制御することにより、入力軸から出力軸へのトルク変換可能な範囲を広げることができる。つまり、インナロータの内側に備えられた永久磁石をインナロータに拘束されずに回転可能な状態とすれば、インナロータはアウタロータと誘導機を構成した状態となる。従って、このときは、インナロータはアウタロータよりも低い回転数で回転する。一方、インナロータの内側に備えられた永久磁石をインナロータと一体として回転可能な状態にすれば、インナロータは永久磁石を備えたアウタロータと磁気カップリングを形成した状態となる。従って、インナロータはアウタロータと同じ回転速度で回転することができる。このように上記動力伝達装置によれば、入力軸から入力された動力を幅広い範囲でトルク変換して出力軸から出力することができる。

【0054】また、本発明の動力伝達装置において、前記第1のロータまたは第2のロータのうち内側に位置するインナロータとして、永久磁石を備えたロータを前記入力軸および出力軸の方向に直列に配置された2つのロータを有し、かつ該2つのロータの位置関係を前記入力軸および出力軸の周方向に変更可能であることを特徴とする電動機であり、前記制御装置は、前記制御に加えて、前記入力軸から入力されるトルクの大小に応じて、前記インナロータと前記ステータとの磁気的な結合の強弱が変化するように前記2つのロータの位置関係を変更させる手段であるものとすることもできる。

【0055】上記発明の動力伝達装置は、先に説明した第5の形態の電動機を用いたものである。第5の電動機は先に説明した通り、インナロータとして備えられている2つのロータのピッチの制御、及びインナロータとアウタロータとの間の磁気的な結合の制御の双方によって、入力軸から出力軸に伝達される動力を幅広い範囲で変化させることができる。従って、かかる電動機を用いた構成からなる動力伝達装置によれば、入力軸から入力された動力を幅広い範囲でトルク変換して出力軸に伝達することができる。

【0056】また、本発明の動力伝達装置において、前記電動機の前記第1のロータまたは第2のロータのうち一方は、巻線が巻回された巻線型ロータであり、該巻線型ロータに巻回された巻線に流れる電流を制御することによって、該巻線型ロータに生じる磁界と前記磁気回路

との相互作用を制御するロータ制御装置を備えるものとすることもできる。

【0057】かかる動力伝達装置によれば、前記制御装置により第1のロータと第2のロータとの間の磁気的な結合の制御に加えて、ロータ制御装置によって第1のロータまたは第2のロータの一方を構成する巻線型ロータに生じる磁界と前記磁気回路との相互作用を制御することが可能となる。従って、上記動力伝達装置によれば、第1のロータ、ステータ、第2のロータ間の磁気的な結合および相互作用を制御する自由度が高まり、例えば巻線型ロータが誘導機のロータとして機能する場合には、すべりに伴う損失を抑制するよう巻線型ロータに流れる電流を制御することが可能である。この結果、動力伝達装置をより力率・効率の高い運転状態で運転することが可能となる。また、巻線が巻回された巻線型ロータは、誘導機のロータとして機能する他、前記ステータとの間でロータ制御装置によって制御される同期電動機としても機能し得る。このため、上記動力伝達装置によれば、電動機の回転数を広い範囲で制御することが可能となり、例えば巻線型ロータを他方のロータよりも高い回転数で回転させることができる。

【0058】以上で説明した電動機および動力伝達装置は、種々の装置に適用可能であるが、一例として以下に示す通りハイブリッド車両に適用することができる。本発明のハイブリッド車両は、原動機と、該原動機の回転軸および車輪を有する駆動軸に結合された本発明の動力伝達装置とを備え、少なくとも前記原動機から出力される動力によって走行可能なハイブリッド車両である。

【0059】先に図55を用いて、従来技術としてのハイブリッド車両の構成例を説明した。かかるハイブリッド車両では、クラッチモータCMとアシストモータAMの2つを動力伝達装置として用いていた。これに対し、本発明のハイブリッド車両では、先に説明した本発明の電動機または動力伝達装置を適用している。この結果、本発明のハイブリッド車両は、既に本発明の電動機および動力伝達装置について説明した種々の効果を得ることができる。具体的には、動力伝達装置を小型化することができるため、原動機を含む動力出力装置のサイズを小型化することができる。一般に車両では動力出力装置を搭載するためのスペース上の制約が厳しいため、装置の小型化によるメリットは非常に大きい。

【0060】また、上記ハイブリッド車両では、動力伝達装置の効率を向上することができるため、車両全体の運転効率を向上することができる。元来、ハイブリッド車両は燃費に優れることを特徴としているが、本発明のハイブリッド車両によれば、その特徴を更に向上することができる。

【0061】なお、本発明の電動機および動力伝達装置は、ハイブリッド車両に用いた場合のみならず、原動機と組み合わせて動力出力装置を構成し、種々の装置の動

力源として適用することも可能である。例えば、列車等の種々の輸送機や工作機械などへの適用が考えられる。この場合において、原動機としては内燃機関や電動機などを用いることができる。

【0062】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について実施例に基づいて説明する。

(1) 第1実施例としての電動機の構成: 図1および図2に本発明の第1実施例としての電動機の構成を示す。図1は、回転軸に直交する断面における断面図であり、図2は回転軸に沿う方向の断面における断面図である。図1に示す通り、第1実施例の電動機100は、インナロータ軸102を中心として同心円状に内側からインナロータ110、ステータ140、アウタロータ170が配置されている。なお、図1では巻回されたコイルについては図示を省略してある。図2に示す通り、アウタロータ170はアウタロータ軸104に結合されている。インナロータ軸102、ステータ140、アウタロータ軸104は、相互に軸受け106～108を介して相対的に回転可能に結合されている。

【0063】電動機100のインナロータ110、ステータ140、アウタロータ170のそれぞれの構造について説明する。図3～図5はそれぞれ回転軸に直交する断面におけるインナロータ110、ステータ140、アウタロータ170の断面図である。図6～図8は、それぞれ回転軸に沿う方向の断面におけるインナロータ110、ステータ140、アウタロータ170の断面図である。最初に図3および図6を用いてインナロータ110の構成を説明し、次に図4および図7を用いてステータ140の構成を説明し、最後に図5および図8を用いてアウタロータ170の構成を説明する。

【0064】インナロータ110は、図3に示す通り、大きくはインナロータコア112と永久磁石114とから構成される。インナロータコア112は、図3に示すように略扇形をした8つの部分から成り立っている。インナロータコア112は、図6に示す通り無方向性電磁鋼板の薄板を打ち抜いて形成された板状インナロータコアをインナロータ軸102の方向に積層することにより形成されている。板状インナロータコアの表面は絶縁層が形成されている。板状インナロータコアは積層された上で、アルミケース118に放射状に等間隔に配置される。なお、板状インナロータコア112の表面に接着層を形成しておき、板状インナロータコア112を積層し互いに押圧した状態とした上で、接着層を加熱・溶融して一応固定した上で、アルミケースに配置するものとしても構わない。

【0065】8つのインナロータコア112の間には、図3に示す通り8つの永久磁石114が放射状に配置される。永久磁石114はそれぞれ円周方向に磁極が向くように配置されており、隣接する永久磁石は同じ磁極同

士が対向するように配置される。なお、図3に示される通り、インナロータコア112は電動機の回転時に遠心力によって永久磁石114が径方向に飛び出すのを防ぐような断面形状をなしている。図9にインナロータコア112および永久磁石の配置の様子を斜視図により示す。こうして、インナロータコア112および永久磁石114をアルミケース118に配置した後、アルミ製のフタ120をして固定用のボルト116により全体を固定する。次に、アルミケース118の中心部にインナロータ軸102を圧入し、ボルト122で固定することによってインナロータ110は完成する。

【0066】なお、永久磁石114を放射状に配置したのは、かかる配置にすることにより永久磁石の磁束を効率的に活用することができる、電動機の運転効率やトルクを高めることができるからである。ロータの構造としては、永久磁石をロータ外周面に貼付したものや、外周附近に円周方向に設けられた孔に永久磁石を挿入したもの等が知られている。インナロータ110の構成としては、これらの構成を採用することもできる。

【0067】次に、ステータ140の構成について説明する。ステータ140は、図4に示す通り、大きくはステータコア142とコイル144とから構成される。ステータコア142は、図4に示すようにティース部にコイルを巻き回す通常のステータのティース部のみを独立させたような断面形、つまり略長方形を基本として内周側と外周側に位置する部分に若干のフランジ部を設けた断面を有する12個の独立した部分から成り立っている。ステータコア142は、図7に示す通り無方向性電磁鋼板の薄板を打ち抜いて形成された板状ステータコアを回転軸方向に積層することにより形成されている。板状ステータコアの表面は絶縁層が形成されている。板状ステータコアは積層された上で、固定用のボルト146により固定される。なお、板状インナロータコア112の表面に接着層を形成しておき、板状インナロータコア112を積層し互いに押圧した状態とした上で、接着層を加熱・溶融して一応固定した上で、さらに固定用のボルト146で固定するものとしても構わない。

【0068】12のステータコア142には、それぞれコイル144が巻き回される。図4では、コイル144を巻き回した状態を一部のステータコア142についてのみ示し、残りのステータコア142についてはコイルの図示を省略した。コイル144はいわゆる集中巻により巻き回されており、各ステータコア142に独立に巻き回されている。ステータコア142にコイル144を巻き回した状態を斜視図として図10に示した。このように集中巻を採用すると、ステータコア142の製造が非常に容易になるという利点がある。もちろん、複数のステータコア142にまたがってコイルを巻き回す分布巻きを採用するものとしても構わない。なお、本実施例の電動機はステータ140にU、V、W相の3相交流を流すことによ

より駆動される。従って、図4に示した通り、円周方向に3つおきに位置するコイル144はそれぞれ同じ位相の電流が流れるコイルとして結線されることになる。また、これらのコイル144は外部の電源と接続可能となっている。

【0069】こうしてコイル144が巻回されたステータコア142は、図4に示すように円周状に配置される。この際、各ステータコア142の位置を決めるためにアルミ製のフランジ147、148が用いられる。フランジ147、148には各ステータコア142の位置決めに用いられるピン149が円周状に等間隔に配置されている。これらのピン149をガイドとして各ステータコア142をフランジ147、148で挟み込むようにして図4の配置を実現する。なお、この状態では、フランジ147、148は分離可能な状態であるため、両者およびステータコア142を仮に固定するための治具を用いている。

【0070】この状態で、ステータコア142間の外周面および内周面を樹脂モールドにより固定する。ステータコア142の斜視図を図11に示した。図11中の黒く塗りつぶした部分が樹脂モールド150である。図11では、フランジ147、148を図示していないが、樹脂モールド150によりステータコア142はフランジ147、148とも固定される。こうして本実施例のステータ140は完成する。

【0071】本実施例のステータ140は、図11に示した通り、ステータコア142を円周方向につなぐ部材は樹脂モールド150のみである。従来より通常用いられているステータの構造としては、図56のステータ1410に示すようにリング状のヨーク部と突極部から構成されているものであった。このようにヨーク部を有していない構造をなしている点で、本実施例のステータ140は従来のステータとは全く異なる構造をなすることになる。かかる構造を探ることにより、後述する通り、ステータコア142を通る磁束が円周方向に逃げなくなる。つまり、磁束はステータコア142を径方向に貫通するようになる。かかる作用により本実施例の電動機は後述する種々の効果を得ることができる。

【0072】なお、本実施例のステータ140は、樹脂モールド150によりステータコア142間を埋めるとともに、ステータコア142を円周方向に固定するものとしているが、ステータコア142をその他の非磁性体で固定するものとしても構わない。ステータコア142を固定することが可能であれば、各ステータコア142の間は空隙であっても構わない。本実施例で樹脂モールド150を採用したのは、製作の容易性とステータ140の剛性およびコイル144からの熱に対する耐熱性、放熱性等を考慮したためである。

【0073】最後にアウタロータ170の構成を説明する。アウタロータ170は、図5に示す通り、大きくは

アウタロータコア172とコイル174とから構成される。アウタロータコア172は、無方向性電磁鋼板の薄板を、図5に示すように内側に72個のスロットを有するリング状の断面形に打ち抜いて形成された板状アウタロータコアをアウタロータ軸104方向に積層することにより形成されている。板状アウタロータコアの表面は絶縁層が形成されている。板状アウタロータコアは積層された上で、アルミ製のケース176に圧入され、円管状の固定リング178によりかじめて固定される。なお、板状アウタロータコアの表面に接着層を形成しておき、板状アウタロータコアを積層し互いに押圧した状態とした上で、接着層を加熱・溶融して一応固定した上で、ケース176に挿入するものとしても構わない。

【0074】アウタロータコア172のスロット間にコイル174が巻回される。本実施例におけるコイルの巻回方法を図12に示した。説明の便宜上、図12に示す通り、アウタロータコア172の各スロットに0番から時計回りに順に番号を付した。コイルは9つおきのスロット間で順次巻回されている。つまり、0番スロットと9番スロットとの間で巻回された後、9番スロットと17番スロットとの間で巻回される。同様にして各スロット間でコイルが巻回されている。なお、アウタロータ172のコイル174は外部の電源とは接続されていない。アウタロータ172は後述する通り、ステータ140またはインナロータ110との間で誘導機として機能するロータである。コイル174は種々の方法により巻回可能であるが、本実施例ではステータ140からの磁束と有効に錯交するように巻回した。こうして組み立てられたアウタロータ170のケース176を、図8に示す通り、フランジ177にボルトで固定し、アウタロータ軸104を圧入する。

【0075】以上で説明した各構成を有するインナロータ110、ステータ140およびアウタロータ170を図2に示した配置で軸受け106～108を介して組み立てることにより、第1実施例の電動機100が完成する。図1および図2には示していないが、電動機100はステータ140をケース等に固定することにより種々の装置に搭載可能である。もちろん、さらにインナロータ軸102およびアウタロータ軸104を軸受けを介して装置に組み付けるものとしても構わない。

【0076】(2)モータ制御装置の構成：次に、第1実施例の電動機100を用いた動力伝達装置の構成について説明する。図13は、第1実施例としての動力伝達装置10の概略構成を示すブロック図である。この動力伝達装置10は、先に説明した第1実施例の電動機100と、その運転を制御するためのECU12および制御に必要な情報を検出するためのセンサ部と、電動機100の運転に必要な電圧を印加するための駆動回路20および電源としてのバッテリ30とから構成されている。

【0077】ECU12は図示する通り、内部に制御用

のCPU13、ROM14、RAM15等を備えるマイクロコンピュータであり、クロック16の出力する同期信号に伴い、CPU13がROM14に記録された種々の制御用のプログラムを実行する。また、このECU12は、入力ポート17を介して制御に必要な情報を入力するとともに、出力ポート18を介して制御信号を出力している。また、入力ポート17には、電動機100の制御に必要となるトルク指令値が外部から入力可能となっている。

【0078】制御に必要な情報としてECU12に入力される信号には、電動機100の各相に流れる電流値がある。先に説明した通り、第1実施例の電動機100はU、V、W相の三相交流をステータ140のコイル144に流すことにより運転される。この三相交流のうち、U相、V相には電流値を検出するための電流センサ22、23が設けられている。これらの電流センサ22、23により検出された電流値はフィルタ24、25により高周波成分を除去された上で、ADC26、27によりデジタル信号に変換されてECU12に入力される。なお、U相、V相にのみ電流センサ22、23を設けたのは、三相交流はU相、V相、W相の電流の総和が値0となる条件下で流れるため、U相、V相の電流値を検出できればW相の電流は演算により求めることができるからである。もとよりW相に電流センサを設けるものとしても構わない。

【0079】ECU12からは出力ポート18を介して駆動回路20と4本の信号線で接続されている。U相、V相、W相の各相の電流を制御するためのゲート信号Gu、Gv、Gwを出力するための3本の線と、全ての電流をシャットダウンするための信号SDを出力するための線である。ECU12は、これらの信号線にハイまたはロウの信号を出力することにより駆動回路20および電動機100の運転を制御する。

【0080】駆動回路20はECU12の他、バッテリ30および電動機100と電気的に接続されている。駆動回路20はバッテリ30を電源として、電動機100のU相、V相、W相の各相に電流を流すための回路である。駆動回路20の構成を図14に示す。駆動回路20は図14に示す通り、トランジスタインバータとして構成されている。ソース側のトランジスタ（図14中のTu+、Tv+、Tw+）およびシンク側のトランジスタ（図14中のTu-、Tv-、Tw-）が2つ一組として、電動機100のU、V、Wの各相ごとに設けられている。ソース側はバッテリ30のプラスに接続され、シンク側はバッテリ30のマイナス側に接続されている。また、各トランジスタにはフライホイールダイオードと呼ばれるダイオード（図14中のDu+、Du-、Dv+、Dv-、Dw+、Dw-）が直列に接続されている。

【0081】この駆動回路20は先に説明した通り、E

CU12と4本の信号線で電気的に接続されている。ECU12から駆動回路20にはU、V、Wの各相のトランジスタのスイッチングを制御するための信号Gu、Gv、Gwが outputされる。図14に示す通り、例えば信号Guは2つに分岐され、それぞれディレイ回路D1y+、D1y-およびアンドゲートAg+、Ag-を経てトランジスタTu+、Tu-にゲート信号として入力される。シンク側のトランジスタTu-に伝達される信号は、途中インバータInvにより反転するため、信号Guとしてハイまたはロウの信号が入力されるとトランジスタTu+、Tu-がそれぞれ排他的にオン・オフされる。V相、W相に関しても同様の構成となっている。また、ECU12からシャットダウン信号SDにロウが出力されると、アンドゲートAg+、Ag-等を経た出力は全てロウとなるため、駆動回路20の全トランジスタがオフ状態となり、電動機100には一切の電流が流れなくなる。

【0082】なお、図13では電動機100の制御に関連する部分のみを示しているが、動力伝達装置10が搭載される装置によってはECU12にその他のセンサまたはスイッチ等が接続される可能性もある。トルク指令値はECU12に示したように外部から入力する他、種々のセンサからの情報に基づいてECU12内で演算により設定するものとすることもできる。

【0083】電動機100は先に説明した通りインナロータ軸102とアウタロータ軸104の2つを回転軸として有している。以上で説明した構成を有する本実施例の動力伝達装置10は、後述する作動原理および制御に基づいて、電動機100に備えられた2つの回転軸の一方から入力された動力を、その回転数およびトルクを変換して他方に出力することができる。また、動力の入力を伴わずに、2つの回転軸の一方または双方から動力を出力することもできる。さらに、2つの回転軸の一方または双方から入力された動力を電力として回生することもできる。

【0084】(3) 動力伝達装置の作動原理：以上で説明した動力伝達装置についてその作動原理を説明する。図15は、動力伝達装置に用いられている電動機100の作動原理を示す説明図である。図1と同様、インナロータ軸102に直交する断面における断面図を示した。図15では、作動原理の説明の便宜上、アウタロータ170とステータ140およびインナロータ110の径方向の間隔を開けて示した。

【0085】既に説明した通り、本実施例の電動機100のステータ140はヨークがない構造をしている。従って、本実施例の電動機100ではインナロータ110に備えられた永久磁石114による磁束は、図15に示す通りインナロータコア112で径方向に湾曲した後、ステータ140を貫通しアウタロータ170に至る。アウタロータ170に至った後、図15中に破線で示すご

とく、円周方向に曲げられ再びステータ140を貫通してインナロータ110に戻る磁気回路を形成する。比較のために従来の構成、即ちステータにヨークが存在する場合の磁気回路を図16に示す。図示する通り、ヨークが存在する場合にはインナロータ110aから出た磁束はステータに至った後、ステータ140aのヨークに沿って円周方向に曲げられ、アウタロータ170aに至ることなく再びインナロータ110aに戻る。

【0086】図16に示したように、インナロータ110からアウタロータ170に至る磁気回路が形成されない場合には、インナロータ110を回転させてもアウタロータ170には何ら誘導起電力が生じない。従って、インナロータ110からアウタロータ170に動力を伝達することができない。これに対し、本実施例の電動機100では図15に示したようにインナロータ110からアウタロータ170に至る磁気回路が形成されている。この状態でインナロータ110を外力により回転させると、磁気回路の変化に応じてアウタロータ170に誘導起電力が生じる。誘導起電力が生じるとアウタロータ170には磁界が発生するから、この磁界とインナロータ110により生じる磁界との相互作用によってアウタロータ170は回転する。つまり、本実施例の電動機100はインナロータ110とアウタロータ170との間で一種の誘導機を構成することができる。この結果、インナロータ軸102から動力を入力するとアウタロータ軸104にその動力を伝達することができる。このとき、誘導機の性質に基づき、アウタロータ軸104はインナロータ軸102に対して滑りをもった状態で回転する。つまり、「アウタロータ軸104の回転数<インナロータ軸102の回転数」である。なお、こうした効果はステータ140のコイル144に電流を流していないときであっても得られるものである。

【0087】本実施例の電動機100では、上述した動力伝達の原理を基礎として、インナロータ110からアウタロータ170に至る磁気回路を制御することによって、動力の伝達を制御することができる。この動力の伝達の制御について原理を説明する。図17は、ステータ140のコイル144に通電した場合の磁気回路の様子を示す説明図である。図17では本実施例の電動機100の一部を拡大して示した。ステータ140のコイル144に通電することによりステータでは種々の磁界を発生することができる。例えば、インナロータ110からアウタロータ170に至る磁界に対し、反対向きの磁界を発生することも可能である。図17はこうした反対向きの磁界が生じている状態を示している。このとき、アウタロータ170にはインナロータ110による磁界とコイル144による磁界とが重ね合わされた結果、図17に白抜きの矢印で示す磁界が生じる。つまり、コイル144への通電前の状態に比べて弱い磁界がアウタロータ170に至ることになる。

【0088】一般に誘導機において、アウタロータ170から出力されるトルクはアウタロータ170とステータ140の間のエアギャップ中の磁界の強さおよびインナロータ110とアウタロータ170の相対的なすべり量に応じて変化する。誘導機において出力されるトルクとすべり量および上記エアギャップ中の磁界の強さとの関係を図18に示した。図示する通り、すべり量が一定であるならば、エアギャップ中の磁界が強くなる程出力されるトルクは大きくなる。また、エアギャップ中の磁界が一定のままですべり量を徐々に大きくしていくと、あるすべり量に至るまではすべり量に応じてトルクは大きくなる。あるすべり量でトルクが極大となり、それ以上のすべり量ではトルクは徐々に小さくなる。通常、誘導機はトルクが極大となるすべり量以下のすべり量で使用される。

【0089】本実施例では上述した通り、ステータ140のコイル144に通電することにより、アウタロータ170とステータ140の間のエアギャップ中の磁界の強弱を変化させることができる。図17に示したようにコイル144に通電することによりエアギャップ中の磁界を弱めれば、上述の誘導機の原理の基づき、通電前の状態よりも伝達されるトルクを小さくすることができる。また、伝達されるトルクが一定、即ちアウタロータ軸104にかかる負荷が一定であれば、インナロータ軸102とアウタロータ軸104のすべり量を大きくすることができる。これは、通電前よりもアウタロータ軸104をより低速回転することができる意味する。

【0090】こうした動力伝達の様子を図19に示す。各回転軸の動力は、図19に示す通り横軸に回転数、縦軸にトルクをとて表した平面内のいざれかの回転ポイントで表現することができる。一般に動力、即ち単位時間当たりのエネルギーは回転数×トルクで表される。従って、動力の大きさが一定となる回転には種々の回転ポイントが対応する。図19中に示した曲線P1, P2, P3は、それぞれ動力の大きさが一定となる回転ポイントを結んだ曲線である。

【0091】仮にステータ140のコイル144に通電していない場合におけるアウタロータ軸104の回転状態が図19中の回転ポイントDP1で表されるものとする。つまり、回転数N1、トルクT1であるとする。このとき、アウタロータ軸104にかかる負荷トルクT1を一定としたままアウタロータ170とステータ140の間のエアギャップ中の磁界を弱めれば、アウタロータ軸104はより低速の回転ポイント、つまり図19中の回転ポイントDP2(回転数N2、トルクT1)に移行する。この結果、アウタロータ軸104からは通電前の動力P1(N1×T1)よりも低い動力P2(N2×T1)が出力されることになる。なお、通電時におけるアウタロータ軸104の回転状態は回転ポイントDP2のみならず、負荷に応じて曲線P2上の種々の回転ポイン

トに相当する状態を探り得る。

【0092】ステータ140のコイル144への通電量を制御すれば、インナロータ110からアウタロータ170に至る磁気回路を遮断することも可能である。かかる状態を図20に示した。図20は、インナロータ110からアウタロータ170に至る磁界に対し、同じ強さ逆向きの磁界をステータ140で生じさせた状態を示している。この場合、インナロータ110による磁界とステータ140による磁界は相殺するから、インナロータ110からアウタロータ170に至る磁界は形成されない。かかる状態でインナロータ110を回転させてもアウタロータ170は回転しない。本実施例の電動機100ではこのようにステータ140に生じる磁界の強さを制御することにより、インナロータ軸102とアウタロータ軸104との間でクラッチとして機能し、クラッチを解放した状態を実現することができる。このときのアウタロータ軸104の回転状態は、図19の原点〇に相当する。

【0093】一方、アウタロータ170はステータ140との間でも誘導機を構成している。従って、インナロータ110を回転不能にした状態で、ステータ140のコイル144に通電して回転磁界を生じさせれば、この回転磁界に応じてアウタロータ170は回転する。この回転磁界の強さおよび回転速度を制御すれば、アウタロータ170を誘導機として所望のトルクおよび回転数で回転させることができる。一般に誘導機では、コイル144に流す電流を、アウタロータ170に誘導起電力を生じさせるための電流と誘導起電力によって生じる磁界との相互作用によってトルクを生じさせるための電流の2つの成分に基づいて制御する。前者を励磁電流と呼び、後者をトルク電流と呼ぶ。トルク指令値に応じて励磁電流およびトルク電流の大きさを設定した上で、回転数の指令値に応じて磁界が回転するように各相に電流を流すのである。かかる制御の詳細については、誘導機の制御として周知の技術であるため、ここでは説明を省略する。

【0094】図17および図20を用いて説明したステータ140の電流の制御は、こうした励磁電流とトルク電流の制御の一種である。一般的誘導機であれば、インナロータ110が存在しないため、電流値はステータ140によって生じる磁界のみを考慮して設定することになるが、本実施例の電動機100ではインナロータ110による磁界を考慮した上で効率、力率の高い状態で運転できるように電流値を設定するという点で相違する。

【0095】さて、図17では、励磁電流とトルク電流とを制御することにより、例えはインナロータ110から入力された動力をすべり量の大きい状態でアウタロータ170に伝達可能であることを説明した。つまり、コイル144に通電する前のアウタロータ軸104の回転数およびトルクに対し、同じトルクかつ低い回転数で動

力を出力可能であることを説明した。このとき、図19に示す通り、アウタロータ軸104から出力される動力は、通電前の動力P1(N1×T1)よりも低い動力P2(N2×T2)となる。以下に示す通り、図17の状態では、この差分の動力は電力としてステータ140のコイル144から回生されている。

【0096】先に図17において、コイル144に通電することによりインナロータ110による磁界と逆向きの磁界を生じさせると説明した。実際にはこの通電はインナロータ110の回転によってコイル144に生じる誘導起電力に基づく電流として実現されている。コイル144に図17に示す向きに磁界が生じると、コイル144には逆向きの磁界を生じさせる電流を流し得る誘導起電力が発生する。この起電力によって生じた磁界が図17に示した逆向きの磁界に他ならない。従って、図17の状態では、電動機100はインナロータ軸102から入力された動力の一部を電力として回生しつつ、残余の動力をアウタロータ軸104から出力している状態に相当する。

【0097】図17に示す逆向きの励磁電流が流れている状態において、更にコイル144に正のトルク電流を流せば、その大きさに応じてアウタロータ軸104から出力されるトルクを増大させることができる。トルク電流を適切に設定すれば、通電前の動力P1と等しい動力をアウタロータ軸104から出力することも可能である。図17に示す磁界を生じるよう励磁電流が流れ、アウタロータ軸104が通電前よりも低い回転数N2で回転している場合に、両者の動力の大きさを等しくした場合には、アウタロータ軸104の回転状態は図19に示す回転ポイントDP3に移行することになり、通電前の回転ポイントDP1よりも大きなトルクが出力されることになる。

【0098】なお、通電前の動力P1と等しい動力がアウタロータ軸104から出力される場合には、エネルギーのバランスから明らかな通り、ステータ140ではエネルギーの授受が生じない。励磁電流はインナロータ110の回転に伴う誘導起電力によって生じる電流であることを先に説明した。インナロータ軸102とアウタロータ軸104の動力が等しくなるようにコイル144にトルク電流を流した場合、インナロータ110の回転により回生された電力がトルク電流を流す電力として消費され、両者が均衡した状態でコイル144に電流が流れるのである。これは、コイル144のU相、V相、W相の内部で環流が生じ、バッテリ30と電力のやりとりがない状態に相当する。

【0099】環流の一例を図14中に矢印で示した。図示する通り、U相のソース側のトランジスタTu+を通る電流はU相コイルに流れ込み、V相、W相から流出する。各コイルには誘導起電力が生じているため、この間に電位が高くなる。この結果、V相、W相のコイルから

流出した電流は、それぞれのソース側に設けられたフライホイールダイオードDv+, Dw+を通り、U相のソース側のトランジスタTu+に戻る。つまり、バッテリ30を通過することなく電流が流れる。これが環流の一例である。もっともこれはエネルギーの損失が全くない理想的な場合に過ぎない。現実にはコイル144のインピーダンスやトランジスタのオン抵抗等に伴うエネルギー損失が生じるため、その分の電力がバッテリ30から供給されることになる。

【0100】更に大きな正のトルク電流を流せば、通電前の回転ポイントDP1よりも大きな動力、例えば図19における回転ポイントDP4に相当する動力を出力することも可能である。かかる場合にはインナロータ軸102から入力された動力に対し、バッテリ30の電力を用いてトルクアシストした上でアウタロータ軸104から出力した状態に相当する。もちろん、アウタロータ軸104は、回転ポイントDP4以外の種々のポイントで回転可能である。

【0101】こうして、本実施例の電動機100では励磁電流とトルク電流を制御することにより、インナロータ軸102から入力された動力を種々の回転数およびトルクに変換してアウタロータ軸104から出力することが可能である。上述の作動原理の説明では、インナロータ軸110およびアウタロータ軸170のある静的な状態を捉えて説明したが、現実には両者は回転しているため、ステータ140に生じる磁界も両者の回転速度に応じて回転するように制御される。また、上述の作動原理の説明では、インナロータ軸102が動力の入力軸となる場合を例にとって説明したが、逆にアウタロータ軸104が動力の入力軸となる場合であっても同様の作用を奏ずることができる。

【0102】以上で説明した電動機100によれば、同軸上にインナロータ軸110、ステータ140、アウタロータ軸170を配置することにより、インナロータ軸102およびアウタロータ軸104の両者の回転状態を制御可能な電動機を小さなサイズで形成することができる。また、ステータ140にいわゆる集中巻きを採用することにより電動機100を容易に製造することができる。

【0103】本実施例の電動機100では、インナロータ軸102およびアウタロータ軸104の回転状態を制御するための駆動回路20が一つで済むという利点もある。駆動回路20を減らすことができるため、装置のサイズをさらに小さくすることができ、また装置のコストを低減することもできる。既に説明した通り、この駆動回路はステータ140のコイル144に流れる電流を制御するための回路である。本実施例の電動機100では、インナロータ軸110およびアウタロータ軸170には、電力を供給する必要がない。従って、電力の供給に際しスリップリング等を用いる必要もない。この結果、

本実施例の電動機100は非常に耐久性に優れた電動機となる。

【0104】本実施例の電動機100では、内側からインナロータ110、ステータ140、アウタロータ170の順に配置したことにより、インナロータ110およびアウタロータ170の回転の制御が容易になるという利点もある。例えば、ステータ140を最も外側または内側に配置した場合、インナロータ110の回転を制御すれば、その反作用がアウタロータ170に現れることになり、両者のトルクを適切に制御することは困難となる。本実施例の電動機100では、上述の配置を取ることにより、インナロータ110またはアウタロータ170の回転の制御時の反作用をステータ140で吸収することができるため、これらの回転の制御が容易になるのである。また、かかる配置によりステータ140とインナロータ110およびアウタロータ170との間隔が近くとなり、両者の制御に多大なエネルギーを必要としないという利点もある。

【0105】上記説明では、本実施例の電動機100を用いた動力伝達装置10を提案した。本実施例の動力伝達装置10によれば、インナロータ軸102から入力された動力を種々の回転数およびトルクに変換してアウタロータ軸104から出力することができる。また、インナロータ軸102からの動力の入力に関わらず、アウタロータ軸104から動力を出力することも可能である。さらに、インナロータ軸102から入力された動力を電力として回生することも可能である。これらの作用は従来技術として説明したクラッチモータCMとアシストモータAMとを組み合わせた動力伝達装置(図55参照)と同様の作用である。本実施例の動力伝達装置10によれば、かかる作用を小さな装置で実現することが可能である。

【0106】従来技術として図55に示した動力伝達装置では、クラッチモータCMにおいて機械的な動力の一部を一旦電力に変換し、アシストモータAMにおいて再度機械的な動力に再変換するという過程を経て、トルク変換を実現している。機械的な動力と電力との変換ではある程度の損失が生じるのが通常である。これに対し、本実施例の動力伝達装置10では、ステータ140のコイル144に流れる電流により、2つのインナロータ110とアウタロータ170、ステータ140との間の磁気エネルギーの授受を直接制御し、アウタロータ軸104に伝達される動力を所望の回転数およびトルクに変換することができる。従って、本実施例の動力伝達装置10はインナロータ軸102から入力された動力をトルク変換して効率よくアウタロータ軸104から出力することができる。

【0107】本実施例の電動機100では、永久磁石を備えたインナロータ110と、巻線を備えたアウタロータ170とで誘導電動機が構成されている、かかる電動

機100では、ステータ140のコイル144に通電しない場合であっても、インナロータ110の回転に伴ってアウタロータ170が回転する、従って、かかる電動機100を適用した本実施例の動力伝達装置10は、駆動回路20またはバッテリ30の故障等でコイル144に通電できない場合であっても、インナロータ軸102からアウタロータ軸104に動力を伝達することが可能である。

【0108】(4) 第2実施例としての電動機および動力伝達装置：次に、第2実施例としての電動機および動力伝達装置の構成を説明する。図21および図22に本発明の第2実施例としての電動機の構成を示す。図21は、回転軸に直交する断面における断面図であり、図22は回転軸に沿う方向の断面における断面図である。図21に示す通り、第2実施例の電動機200は、インナロータ軸202を中心として同心円状に内側からインナロータ210、ステータ240、アウタロータ270が配置されている。図21では、巻回されているコイルについては図示を省略した。図22に示す通り、アウタロータ270はアウタロータ軸204に結合されている。インナロータ軸202、ステータ140、アウタロータ軸204は、相互に軸受け206～208を介して相対的に回転可能に結合されている。

【0109】電動機200のインナロータ210、ステータ240、アウタロータ270のそれぞれの構造について説明する。図23～図25はそれぞれ回転軸に直交する断面におけるインナロータ210、ステータ240、アウタロータ270の断面図である。図26～図28は、それぞれ回転軸に沿う方向の断面におけるインナロータ210、ステータ240、アウタロータ270の断面図である。最初に図23および図26を用いてインナロータ210の構成を説明し、次に図24および図27を用いてステータ240の構成を説明し、最後に図25および図28を用いてアウタロータ270の構成を説明する。

【0110】インナロータ210は、図23に示す通り、大きさはインナロータコア212と永久磁石214とから構成される。インナロータコア212は、図23に示すようにリング状の断面形をしている。インナロータコア212は、図26に示す通り無方向性電磁鋼板の薄板を打ち抜いて形成された板状インナロータコアをインナロータ軸202の方向に積層することにより形成されている。板状インナロータコアの表面は絶縁層が形成されている。板状インナロータコアは積層された上で、インナロータ軸202が圧入され、ボルト216で固定される。なお、板状インナロータコア212の表面に接着層を形成しておき、板状インナロータコアを積層し互いに押圧した状態とした上で、接着層を加熱・溶融して一応固定した上で、インナロータ軸202を圧入するものとしても構わない。

【0111】インナロータコア212の外周面には、図23に示す通り16個の永久磁石214が貼付されている。永久磁石214はそれぞれ径方向に磁極が向くように配置されており、外周面にN極、S極が交互に現れるように配置されている。第2実施例では、永久磁石214を表面に貼付しているが、第1実施例で説明したように永久磁石をインナロータ210に内包するものとしても構わない。また、外周付近に円周方向に設けられた孔に永久磁石を挿入してもよい。

【0112】ステータ240の構成は、第1実施例で説明したステータ140の構成とほぼ同じである。第1実施例におけるステータ140は12個のステータコア142を備えていたのに対し、第2実施例のステータ240は18個のステータコア242を備える点で相違する。ステータコア242には、コイル244が集中巻きされている。各ステータコア242同士およびフランジ247、248は樹脂モールドにより固定されている。本実施例のステータ240も第1実施例のステータ140と同様、ヨークがない構造をなしている。

【0113】アウタロータ270は、図25に示す通り、大きさはアウタロータコア272と永久磁石274とから構成される。アウタロータコア272は図25に示すようにリング状の断面をなしている。また、無方向性電磁鋼板の薄板を積層して形成されている。アウタロータコア272の内周面には、永久磁石274が貼付されている。永久磁石274はそれぞれ径方向に磁極が向くように配置されており、内周面にN極、S極が交互に現れるように配置されている。アウタロータ270はアウタロータ軸204が圧入されたフランジ277とボルト278により固定されている。

【0114】以上で説明した通り、第2実施例の電動機では、インナロータ210とアウタロータ270に永久磁石214、274が貼付されている。両者に貼付される永久磁石214、274の数は等しい。なお、永久磁石214、217の数はステータコア242の数に応じて自由に設定可能である。但し、後述する理由によりインナロータ210とアウタロータ270に備えられた永久磁石の数は同じにしておくことが望ましい。

【0115】以上で説明した各構成を有するインナロータ210、ステータ240およびアウタロータ270を図22に示した配置で軸受け206～208を介して組み立てることにより、第2実施例の電動機200が完成する。図21および図22には示していないが、電動機200はステータ240をケース等に固定することにより種々の装置に搭載可能である。もちろん、さらにインナロータ軸202およびアウタロータ軸204を軸受けを介して装置に組み付けるものとしても構わない。

【0116】第1実施例の動力伝達装置10において、電動機100を第2実施例の電動機200に置換すれば、動力伝達装置を構成することができる。電動機以外

のハードウェア構成は第1実施例と同じである。かかる動力伝達装置の作動原理について説明する。

【0117】第2実施例の電動機200においても、ステータ240としてヨークがない構造を適用しているため、インナロータ210からステータ240を貫通してアウタロータ270に至る磁気回路が形成される。第1実施例の電動機100では、インナロータ110とアウタロータ170とは誘導機を構成していた。これに対し、第2実施例の電動機200では、インナロータ110とアウタロータ170とは磁気的な結合により一体的に回転する磁気カップリングを構成する。つまり、ステータ240のコイル244に通電しない状態では、インナロータ軸202とアウタロータ軸204とはすべりのない状態で回転する。本実施例においてインナロータ210とアウタロータ270に貼付された永久磁石214, 274の数を一致させているのは、かかる場合にインナロータ210とアウタロータ270との間で最も強い磁気結合が得られるからである。

【0118】ステータ240のコイル244に通電すると、インナロータ210からアウタロータ270に至る磁界の強さを制御することができる。従って、第1実施例の電動機100と同様、インナロータ軸202から入力される動力に対しアウタロータ軸204に出力される動力の大きさを制御することができる。この際、第1実施例の電動機100と異なり、インナロータ210とアウタロータ270はすべりを生じない状態で回転するため、例えコイル244に通電してアウタロータ270に至る磁界を弱めれば、アウタロータ軸204にはその分低いトルクで動力が伝達されることになる。

【0119】また、コイル244の通電状態を制御して、インナロータ210からアウタロータ270に至る磁界を遮断することもできる。この場合には、動力伝達装置は解法されたクラッチとして機能することになる。先に第1実施例において説明した通り、かかる場合にはインナロータ軸202から入力される動力の全てを電力として回生している状態に相当する。

【0120】一方、ステータ240とアウタロータ270とは、同期機を構成する。つまり、ステータ240のコイル244に通電して回転磁界を生じさせると、その磁界の回転に応じてアウタロータ270は回転する。同期機においても第1実施例において説明した誘導機の制御と同じく2つの成分に基づいてコイル244に通電する電流の大きさが決められる。インナロータ210を回転不能に固定して、トルクおよび回転数の指令値に基づいてコイル244に電流を通電すれば、アウタロータ270は所望の回転数およびトルクで力行する。

【0121】インナロータ210の動力を回生するための電流、および所望のトルクおよび回転数でアウタロータ270を力行するための電流を重畠してステータ240のコイル244に流せば、インナロータ210からの

動力をトルク変換してアウタロータ270から出力することができる。インナロータ210から入力される動力とアウタロータ270から出力される動力の大きさが等しければ、バッテリ30からの電力の授受は伴わずにトルク変換することができるし、両者の大きさに差異があればその差異に応じた電力がバッテリ30との間でやりとりされる。

【0122】以上で説明した電動機200および動力伝達装置によれば、第1実施例の電動機100とほぼ同等の効果を得ることができる。なお、第1実施例ではインナロータ110に対して低い回転数でアウタロータ270が回転する状態が基本的な状態であったが、第2実施例ではインナロータ210とアウタロータ270とが同じ回転数で回転する状態が基本的な運転状態となる。従って、第2実施例の電動機200および動力伝達装置はインナロータ軸202およびアウタロータ軸204の回転数の差が比較的小さい場合に適している。

【0123】(5) 第3実施例としての電動機および動力伝達装置：次に、第3実施例としての電動機300および動力伝達装置の構成を説明する。図29に本発明の第3実施例としての電動機300の構成を示す。図29は、回転軸に直交する断面における断面図である。回転軸に沿う方向の断面における構成は、第1実施例および第2実施例の電動機とほぼ同じであるため省略する。図29に示す通り、第3実施例の電動機300は、インナロータ軸302を中心として同心円状に内側からインナロータ310、ステータ340、アウタロータ370が配置されている。第1実施例および第2実施例の電動機と同様、アウタロータ370はアウタロータ軸に結合されている。インナロータ軸302、ステータ320、アウタロータ軸304は、相互に軸受けを介して相対的に回転可能に結合されている。

【0124】電動機300のインナロータ310、ステータ340、アウタロータ370のそれぞれの構造について説明する。図30～図32はそれぞれ回転軸に直交する断面におけるインナロータ310、ステータ340、アウタロータ370の断面図である。また、図33にはインナロータ310のインナロータ軸302に沿う方向の断面における断面図を模式的に示す。

【0125】インナロータ310は、図30に示す通り、いわゆるかご型誘導機に用いられるかご型回転子と、その内側に位置する永久磁石316とから構成される。かご型回転子は、インナロータコア312とロータバー314から構成されている。インナロータコア312は、図30に示すようにリング状の断面形をしており、無方向性電磁鋼板の薄板を積層して形成されている。ロータバー314は銅棒であり、インナロータコア312の外周面に形成された溝にそれぞれ埋め込まれている。また、ロータバー314は端部においてリング状の短絡板で結合されている。ロータバー314の表面は

絶縁層が形成されている。

【0126】かご型回転子の内側には図30に示すように8つの永久磁石316が備えられている。この永久磁石316はインナロータコア312と異なる第2インナロータコア318の外周面に貼付されている。永久磁石316はそれぞれ径方向に磁極が向くように配置されており、外周面にN極、S極が交互に現れるように配置されている。

【0127】永久磁石316を貼付した第2インナロータコア318は、インナロータ310に拘束されない状態で回転可能である。また、図33に示す通り、クラッチ308でインナロータ軸302に設けられたクラッチディスク306と結合することにより両者を一体として回転することも可能である。

【0128】ステータ340の構成は、第1実施例で説明したステータ140の構成とほぼ同じである。第1実施例におけるステータ140は12個のステータコア142を備えていたのに対し、図31に示す通り、第3実施例のステータ240は24個のステータコア342を備える点で相違する。また、第1実施例ではコイル144が集中巻きされていたのに対し、第3実施例ではコイル344を分布巻きしている点で相違する。各ステータコア342同士およびフランジは樹脂モールドにより固定されている。本実施例のステータ340も第1実施例のステータ140と同様、ヨークがない構造をなしている。もちろん、本実施例のステータ340においても第1実施例と同様、集中巻きによりコイル344を巻回しても構わない。

【0129】アウタロータ370は、図32に示す通り、大きくはアウタロータコア372と永久磁石374とから構成される。アウタロータコア372は図32に示すようにリング状の断面をなしている。また、無方向性電磁鋼板の薄板を積層して形成されている。アウタロータコア372の内周面には、永久磁石374が貼付されている。永久磁石374はそれぞれ径方向に磁極が向くように配置されており、内周面にN極、S極が交互に現れるように配置されている。アウタロータ370はアウタロータ軸に固定されている。

【0130】以上で説明した各構成を有するインナロータ310、ステータ340およびアウタロータ370を軸受けを介して組み立てることにより、第3実施例の電動機300が完成する。図29には示していないが、電動機300はステータ340をケース等に固定することにより種々の装置に搭載可能である。もちろん、さらにインナロータ軸302およびアウタロータ軸を軸受けを介して装置に組み付けるものとしても構わない。

【0131】第1実施例の動力伝達装置10において、電動機100を第3実施例の電動機300に置換すれば、動力伝達装置10Aを構成することができる。この動力伝達装置10Aの構成を図34に示す。電動機以外

のハードウェア構成は第1実施例とほぼ同じであるが、第3実施例の動力伝達装置10Aでは、さらにインナロータ軸302の回転数を検出するインナロータ軸回転数センサ303およびアウタロータ軸304の回転数を検出するアウタロータ軸回転数センサ305を設ける。後述する通り、インナロータ軸302とアウタロータ軸304の回転数に応じて永久磁石316とインナロータ310との結合を制御するためである。回転数センサとしては種々のセンサが適用可能であるし、センサを用いずに演算等によって算出するものとしても構わない。かかる動力伝達装置10Aの作動原理について説明する。

【0132】第3実施例の電動機300においても、ステータ340としてヨークがない構造を適用しているため、インナロータ310からステータ340を貫通してアウタロータ370に至る磁気回路が形成される。第1実施例の電動機100では、インナロータ310とアウタロータ370とは誘導機を構成していた。第3実施例では、インナロータ310に備えられた永久磁石316をインナロータ310に拘束されない状態にすれば、アウタロータ370との間にかご型の誘導機を構成することができる。もっとも、第1実施例の電動機100ではインナロータ110に永久磁石が配置され、アウタロータ170が巻線型の回転子となっていることを考えれば、第3実施例の電動機300ではその配置が逆の場合に相当する。

【0133】一方、永久磁石316を備える第2インナロータをインナロータ310と一体として回転可能な状態に切り替えれば、第2実施例の電動機200と同様、インナロータ310とアウタロータ370とは磁気カップリングを構成する。つまり、第3実施例の電動機300では、永久磁石316とインナロータ310との結合状態を切り替えることにより、第1実施例の電動機と同様の作用を奏することもできるし、第2実施例の電動機と同様の作用を奏することもできる。

【0134】ステータ340のコイル344への通電によりインナロータ310からアウタロータ370に至る磁界を制御し、両者の回転を制御する原理については、第1実施例および第2実施例の動力伝達装置と同様である。従って、ここでは詳細な説明は省略する。第3実施例では、永久磁石316とインナロータ310との結合状態の切り替えが特徴的であるため、かかる制御について説明する。

【0135】図35は、インナロータ310における上記結合の切り替えの制御について示すフローチャートである。この処理はECU12内のCPU13により周期的に実行される処理である。この処理が開始されるとCPU13は、インナロータ軸302の回転数N_{in}およびアウタロータ軸304の回転数N_{out}を読み込む（ステップS100, S102）、両者の回転数はそれぞれ回転数センサ303, 305により検出される。次

に、インナロータ軸の回転数 N_{in} とアウタロータ軸の回転数 N_{out} の大小を比較する(ステップS104)。インナロータ軸の回転数 N_{in} がアウタロータ軸の回転数 N_{out} よりも小さい場合には、クラッチ308を解放する処理を実行する(ステップS108)。インナロータ軸の回転数 N_{in} がアウタロータ軸の回転数以上である場合には、クラッチ308を結合する処理を実行する(ステップS110)。

【0136】既に説明した通り、永久磁石316をインナロータ310に拘束されないで回転可能な状態にすれば、第3実施例の電動機300は第1実施例の電動機100と同じ効果を奏する。第1実施例の電動機100はインナロータ110に対し、アウタロータ170が低い回転数で回転する状態が基本状態であった。従って、第3実施例の動力伝達装置では、「インナロータ軸302の回転数 $N_{in} <$ アウタロータ軸304の回転数 N_{out} 」となった場合には永久磁石316をインナロータ310に拘束されないで回転可能な状態に切り替えるのである。

【0137】一方、永久磁石316をインナロータ310と一体として回転可能な状態にすれば、第3実施例の電動機300は第2実施例の電動機200と同じ効果を奏する。第2実施例の電動機200はインナロータ210とアウタロータ270が同じ回転数で回転する状態が基本状態であった。従って、第3実施例の動力伝達装置では、インナロータ軸302の回転数 N_{in} とアウタロータ軸304の回転数 N_{out} とが概ね等しくなった場合に両者が一体的に回転可能な状態に切り替えるのである。図35のフローチャートでは、インナロータ軸302の回転数 N_{in} がアウタロータ軸304の回転数 N_{out} よりも小さい場合には必ずクラッチ解放処理を行うものとして図示したが、実際には「インナロータ軸302の回転数 $N_{in} <$ アウタロータ軸304の回転数 N_{out} 」であっても、両者が略同一の回転数になった時点でクラッチ308を結合することができる。

【0138】なお、インナロータ軸302とアウタロータ軸304の回転数の変動に伴って頻繁に切り替えが行われることを回避するために、上記切り替えについては一定のヒステリシスを設けておくことが望ましい。以上で説明した第3実施例の動力伝達装置によれば、第1実施例および第2実施例の動力伝達装置よりも広い範囲で適切に動力を伝達することができる。

【0139】(6) 第4実施例としての電動機および動力伝達装置：次に、第4実施例としての電動機および動力伝達装置の構成を説明する。図36および図37に本発明の第4実施例としての電動機の構成を示す。図36は、回転軸に直交する断面における断面図であり、図37は回転軸に沿う方向の断面における断面図である。図36に示す通り、第4実施例の電動機400は、インナロータ軸402を中心として同心円状に内側からインナ

ロータ410、ステータ440、アウタロータ470が配置されている。図37では図示していないが、アウタロータ470はアウタロータ軸に結合されている。インナロータ軸402、ステータ440、アウタロータ軸404は、相互に軸受けを介して相対的に回転可能に結合されている。

【0140】電動機400のインナロータ410、ステータ440、アウタロータ470のそれぞれの構造について説明する。図38～図40はそれぞれ回転軸に直交する断面におけるインナロータ410、ステータ440、アウタロータ470の断面図である。

【0141】インナロータ410は、図37に示す通り、インナロータ軸402の方向に直列に配置された2つのロータ410A、410Bから構成される。インナロータ410A、410Bのそれぞれは、図38に示す通り、大きさはインナロータコア412と永久磁石414とから構成される。その構成は第2実施例の電動機200のインナロータ210と同じである。つまり、図38に示す断面形をしたインナロータコア412の外周面には、16個の永久磁石414が貼付されている。永久磁石414はそれぞれ径方向に磁極が向くように配置されており、外周面にN極、S極が交互に現れるように配置されている。

【0142】インナロータ410A、410Bはともにインナロータ軸402に結合されている。両者は回転方向の位置関係(以下、ピッチと呼ぶ)が変更可能となっている。この位置関係は、電動機400の運転中でも変更可能である。図38(a)では双方のロータ410A、410Bに備えられた永久磁石414について、対応する永久磁石同士が正面から見て一致する状態を示している。図38(b)では、後方に位置するロータ410Bをロータ410Aに対して相対的に回転し、対応する永久磁石同士がずれた位置にある状態を示している。本実施例ではこのようにインナロータ410A、410Bの位置関係を変更することができる。両者の位置関係を変更可能な範囲は、ロータ410Bについて図38(a)において番号0の位置にあった磁石が番号1の位置まで回転するのに相当する範囲である。

【0143】図37に基づいてインナロータ410A、410Bのピッチを変更する機構について説明する。インナロータ軸402には、インナロータ410Bの内周面と結合する部分に、図37中の破線O-Lで示すようにねじ状の溝が刻んである。インナロータ410Bの内周面にもこの溝O-Lに適合する溝が刻んである。インナロータ410Bにはアクチュエータ406が結合されており、油圧によって図37に示すSLD方向、つまりインナロータ軸402の軸方向に移動可能となっている。このアクチュエータ406によりインナロータ410Bを軸方向SLDに移動させると、インナロータ410Bは先に説明した溝O-Lの作用によってSLD方向への移動

に伴いインナロータ軸402の周方向に相対的に回転する、このときインナロータ410Aはインナロータ軸402に対して固定された状態を保っているため、インナロータ410A、410Bのピッチが変わることになる。ピッチの変更機構としては、かかる機構の他に例えばインナロータ410Bをインナロータ軸402の周方向に回転させるためのモータを設けるなど、種々の機構を採用し得る、なお、本実施例のアクチュエータ406はECU12と電気的に接続されており、ECU12からの制御信号によりインナロータ410BのSLD方向の移動を制御してロータピッチを変更する。

【0144】ステータ440は、図37に示す通り、ロータ410A、410Bに対応するステータコア442A、442Bとコイル444A、444Bと、ガイド部446A、446Bとから構成される。ステータコア442A、442Bは、それぞれ図39に示す断面形をした12の部分から成り立っている。これらのステータコア442A、442Bは、図37に示す通り無方向性電磁鋼板の薄板を打ち抜いて形成された板状ステータコアを回転軸方向に積層することにより形成されている。また、それぞれのステータコア442A、442Bには、コイル444A、444Bが巻回されている。

【0145】これらのステータコア442A、442Bは円周方向に配列した上で第1実施例のステータ140と同様、樹脂モールドにより固定される。ステータコア442A、442Bの外周部にはステータコア442A、442Bからの磁束をアウタロータ470に導くためのガイド部446A、446Bが結合されている。ガイド部446A、446Bは無方向性電磁鋼板の一体成形である。回転軸に沿った方向には図37に示す断面形をしており、回転軸に直交する方向には図39に示す通り長方形の断面形をしている。ガイド部446A、446Bは図39に示す通り、円周上に交互に配置されている。図39では、ガイド部446Bを一点鎖線で示した。ステータ440の構造を斜視図により図41に示した。図41中、ハッチングを施した部分は樹脂モールドされた部分である。ステータ440を貫通した磁束は、このガイド部446A、446Bを通ることによってインナロータ軸402方向にスライドされ、アウタロータ470に至る。第4実施例のステータ440もヨークがないという点では、これまでに説明した電動機100、200、300のステータと共通している。

【0146】アウタロータ270は、図40に示す通り、ステータ440との間でかご型誘導機を構成しうるかご型の回転子として構成されている。大きくはアウタロータコア472とロータバー474とから構成される。アウタロータコア472は図40に示すようにリング状の断面をなしている。また、無方向性電磁鋼板の薄板を積層して形成されている。アウタロータコア472の内周面には、ロータバー474が埋め込まれている。

ロータバー474は銅棒であり、表面は絶縁されている。また、図37および図40では図示していないが、ロータバー474同士は端部でリング状の短絡板により結合されている。アウタロータ470はアウタロータ軸と固定されている。本実施例ではアウタロータ470をかご型の回転子として形成したが、第1実施例のアウタロータ170のように巻線型の回転子として構成しても構わない。

【0147】以上で説明した各構成を有するインナロータ410、ステータ440およびアウタロータ470を図37に示した配置で軸受けを介して組み立てることにより、第4実施例の電動機400が完成する。かかる構成により、第4実施例の電動機400は、ステータ440またはインナロータ410とアウタロータ470との間でかご型の誘導機を構成することになる。図36および図37には示していないが、電動機400はステータ440をケース等に固定することにより種々の装置に搭載可能である。もちろん、さらにインナロータ軸402およびアウタロータ軸404を軸受けを介して装置に組み付けるものとしても構わない。

【0148】第1実施例の動力伝達装置10において、電動機100を第4実施例の電動機400に置換すれば、動力伝達装置を構成することができる。電動機以外のハードウェア構成は第1実施例と同じである。かかる動力伝達装置の作動原理について説明する。

【0149】第4実施例の電動機400においても、ステータ440としてヨークがない構造を適用しているため、インナロータ410からステータ440を貫通してアウタロータ470に至る磁気回路が形成される。第4実施例の電動機400では、第1実施例の電動機100と同様、インナロータ410とアウタロータ470との間で誘導機を構成する。また、ステータ440のコイル444に通電することにより、インナロータ410からアウタロータ470に至る磁界の強さを制御することができる。従って、第1実施例の電動機100と同様の制御により、インナロータ軸402から入力される動力に対しアウタロータ軸404に出力される動力の大きさを制御することができる。インナロータ軸402から入力される動力を電力として回生したり、アウタロータ470を力行したりすることも可能である。

【0150】一方、第4実施例の電動機では、インナロータ410A、410Bの位置関係を制御することにより、ステータ440のコイル444への通電に依らずにインナロータ軸402からアウタロータ軸404に伝達される動力を制御することが可能である。

【0151】例えば、ロータ410Aがステータ440の一つのステータコア442Aに対向しているときを考える。このときロータ410Aとステータコア442Aとの間では非常に強い磁気的な結合が得られる。このとき、ロータ410Aとロータ410Bのピッチを調整し

てロータ410Bもステータコア442Bに対向する位置にすれば、ロータ410Bとステータコア442Bとの間でも非常に強い磁気的な結合が得られる。従って、このときインナロータ410とステータ440との間では最も強い磁気的な結合が得られていることになる。この状態からロータ410Bのピッチを変化させていけば、ロータ410Bとステータコア442Bとの結合が弱まる。従って、インナロータ410とステータ440の結合も弱まることになる。

【0152】このように第4実施例の電動機400では、インナロータ410A、410Bのピッチを変化することにより、インナロータ410とステータ440との間の磁気的な結合の強さを変化させることができる。磁気的な結合の強さが変われば、それに応じてアウタロータ470から出力される動力は変化する。従って、第4実施例の電動機400では、ステータ440のコイル444A、444Bへの通電の制御に依らずに出力される動力を制御することが可能となる。

【0153】第4実施例における電動機400のピッチの制御についての一例を示す。図43は、ロータピッチ制御処理の流れを示すフローチャートである。この処理はECU12内のCPU13により周期的に実行される処理である。この処理が開始されるとCPU13は、要求トルクTd*を読み込む(ステップS200)。次に、この要求トルクTd*と、前回ロータピッチ制御処理ルーチンが実行されたときの要求トルクとの差分によりトルク変化率△Tを算出する(ステップS202)。また、インナロータ410A、410Bのピッチを読み込む(ステップS204)。このピッチは、アクチュエータ406の制御信号から算出することができる。もちろん、両者の相対的な角度を検出するためのセンサを設けるものとしてもよい。

【0154】ロータピッチが検出されると、そのピッチにおいて電動機400が出力可能な最大トルクTmaxおよび最小トルクTminが決定される。ロータピッチに応じて出力可能なトルクの範囲が変動する理由は既に説明した通りである。CPU13は、要求トルクTd*がこうして求められた最大トルクTmaxよりも大きいか否かを判定し(ステップS206)、大きい場合にはロータピッチを変えることにより要求トルクTd*を出力可能にすべく、ロータピッチ設定処理を実行する(ステップS212)。要求トルクTd*が最大トルクTmaxよりも小さい場合には、次に要求トルクTd*が最小トルクTminよりも小さいか否かを判定する(ステップS208)。要求トルクTd*が最小トルクTminよりも小さい場合には、ロータピッチを変更して要求トルクTd*を出力可能にすべく、ロータピッチ設定処理を実行する(ステップS212)。

【0155】要求トルクTd*が最小トルクTmin以上である場合には、次に、トルク変化率△Tの絶対値が

所定の値αよりも大きいか否かを判定する(ステップS210)。トルクの変化率△Tが所定の値αよりも大きい場合には、要求トルクTd*に対して現在のロータピッチが不適切な値となる可能性が高いと予想されるためロータピッチ設定処理を実行する(ステップS212)。かかる場合にロータピッチ設定処理を実行するには、ロータピッチの変更には若干応答時間がかかるため、要求トルクTd*の変動に対してロータピッチの制御を十分追隨させるためでもある。

【0156】ロータピッチの設定処理として、本実施例では要求トルクTd*に対して適切なロータピッチを与えるマップを予めECU12内のROM14に記憶しておき、要求トルクTd*に応じてロータピッチをこのマップから読み出すものとしている。こうして設定されたロータピッチに応じてECU12がアクチュエータ406に制御信号を送ると先に説明した作用によりロータピッチが変更される。

【0157】第4実施例の電動機400では、アウタロータ軸404に出力される動力を2つの手段により制御可能であることになる。両者は並行して用いることができる。従って、第4実施例の電動機400によれば、両者を並行して用いることにより、幅広い範囲でアウタロータ軸404から出力される動力を制御することができる。例えば、大きな出力トルクが要求される運転状態においては、ステータ440との磁気的な結合が最も強くなる位置にインナロータ410A、410Bのピッチを調節した上で、ステータ440のコイル444への通電を制御して出力トルクを制御する。一方、要求されるトルクが比較的小さい運転状態においては、ステータ440との磁気的な結合が弱くなる位置にピッチを調節した上で、コイル444への通電量を制御して出力トルクを制御することができる。こうすれば、コイル444への通電により動力を制御できる範囲が限られている場合であっても動力伝達装置全体として広範囲で動力を制御することが可能となる。

【0158】(7) 第5実施例としての電動機および動力伝達装置：次に、第5実施例としての電動機500および動力伝達装置の構成を説明する。図43および図44に本発明の第5実施例としての電動機500の構成を示す。図43は、回転軸に直交する断面における断面図であり、図44は回転軸に沿う方向の断面における断面図である。図43に示す通り、第5実施例の電動機500は、インナロータ軸502を中心として同心円状に内側からインナロータ510、ステータ540、アウタロータ570が配置されている。図44に示す通り、アウタロータ570はアウタロータ軸504に結合されている。インナロータ軸502、ステータ540、アウタロータ軸504は、相互に軸受け506～508を介して相対的に回転可能に結合されている。

【0159】電動機500のインナロータ510、ステ

ータ540、アウタロータ570のそれぞれの構造について説明する。図45～図47はそれぞれ回転軸に直交する断面におけるインナロータ510、ステータ540、アウタロータ570の断面図である。図48～図50は、それぞれ回転軸に沿う方向の断面におけるインナロータ510、ステータ540、アウタロータ570の断面図である。最初に図45および図48を用いてインナロータ510の構成を説明し、次に図46および図49を用いてステータ540の構成を説明し、最後に図47および図50を用いてアウタロータ570の構成を説明する。

【0160】インナロータ510は、第2実施例の電動機200におけるインナロータ210と同じ構成である。つまり、図45に示す通り外周面に16個の永久磁石514を貼付したインナロータコア512により構成される。インナロータコア512は、図45に示すようにリング状の断面形をしている。インナロータコア512は、無方向性電磁鋼板の薄板を積層して形成されている。また、外周面に貼付された永久磁石514はそれぞれ径方向に磁極が向いており、外周面にN極、S極が交互に現れるように配置されている。第5実施例では、永久磁石514を表面に貼付しているが、第1実施例で説明したように永久磁石をインナロータ210に内包するものとしても構わない。また、外周付近に円周方向に設けられた孔に永久磁石を挿入してもよい。

【0161】ステータ540の構成も、第2実施例で説明したステータ240の構成と同じである。つまり、図46および図49に示す通りコイル244が集中巻きされた18個のステータコア542を円周状に配置し、各ステータコア542同士およびフランジ547、548が樹脂モールドにより固定されている。本実施例のステータ540もこれまでに説明してきた各実施例におけるステータと同様、ヨークがない構造をなしている。従って、インナロータ510からステータ540を貫通してアウタロータ570に至る磁気回路を形成することが可能となっている。

【0162】第5実施例の電動機500は以上で説明したインナロータ510とステータ540とがバーニアモータを形成する構造となっている。バーニアモータとは、同期機の一種であるが、コイル544が巻回されたステータ540のコア542の数と、インナロータ510に備えられた永久磁石514の数との関係が通常の同期機とは異なっているものをいう。通常の同期機では「コア数 相数=永久磁石数/2」なる関係が成立している。本実施例では、U、V、W相の3相交流を用いるものとしているため「相数=3」である。先に説明した通り、第5実施例のステータ540には18個のステータコア542が備えられているから、「コア数/3=6」であり、各相当たり6つの突極を備えていることになる。一方、第5実施例のインナロータ510には永久

磁石が16個貼付されている。従って、外周面にN極が現れる磁石数は「永久磁石数/2=8」となる。

【0163】「コア数 相数=永久磁石数/2」なる関係が成立する場合には、U相電流が流れる一つのU相コイルに一つのN極が対向するとき、残りのU相コイルとN極とも対向するようになる。このようにコア数等を設定すると大きなトルクが高出力可能となる等の利点がある一方で、主として磁界を生じさせる電流の相の移り変わりに伴いトルクの脈動、つまりコギングトルクが生じやすい特性がある。これに対し、第5実施例の電動機500ではかかる関係が成立しないから、一度に全てのU相コイルとN極とが対向しなくなる。他の相のコイルについても同様である。従って、インナロータ510の回転中において、ステータ540とインナロータ510との磁界の相互作用を平均化することができ、回転中のコギングトルクを低減することができる。

【0164】アウタロータ570は、図47および図50に示す通り、第1実施例のアウタロータ170とほぼ同じ構成をなしている。つまり、巻線型の回転子としての構成である。アウタロータ570は、図47に示すリング状の断面形状をなすアウタロータコア572の内周面に設けられたスロットにコイル574を巻回して構成されている。アウタロータコア572は、無方向性の電磁鋼板を積層して構成されたものである。アウタロータ570のコイル574の巻回方法を図51に示す。第5実施例におけるコイル574の巻回では、第1実施例のアウタロータ170(図12参照)ほど軸対称ではない。第5実施例ではインナロータ510とステータ540とがバーニアモータを形成していることによるものである。つまり、インナロータ510に貼付された永久磁石514と、ステータコア542とが完全に対向しない状況下でインナロータ510から出た磁束を有効に鎖交できるようにアウタロータ570のコイル574は巻回されているのである。図51には第5実施例における永久磁石514およびステータコア542に対する一つの巻回方法を示したものであり、永久磁石数やステータコアの数に応じてアウタロータ570のコイル574の巻回方法は異なるものとなる。

【0165】以上で説明した各構成を有するインナロータ510、ステータ540およびアウタロータ570を図44に示した配置で軸受け506～508を介して組み立てることにより、第5実施例の電動機500が完成する。図43および図44には示していないが、電動機500はステータ540をケース等に固定することにより種々の装置に搭載可能である。もちろん、さらにインナロータ軸502およびアウタロータ軸504を軸受けを介して装置に組み付けるものとしても構わない。

【0166】第1実施例の動力伝達装置10において、電動機100を第5実施例の電動機500に置換すれば、動力伝達装置を構成することができる。電動機以外

のハードウェア構成は第1実施例と同じである。また、電動機100はインナロータ110とステータ140がバーニアモータを構成することを除けば、第1実施例の電動機100と同じ構成をなしており、第1実施例と同じ方法により制御することができる。バーニアモータを構成することにより、ステータ140のコイル144に流すべき電流値は第1実施例の電動機100とは異なるものとなるが、制御の原理としては同一である。

【0167】従って、以上で説明した電動機100および動力伝達装置によれば、第1実施例の電動機100および動力伝達装置と同等の効果を得ることができる。また、インナロータ110とステータ140とがバーニアモータを構成することにより、両者間でのコギングトルクを小さくすることができるという利点も有している。

【0168】(8) 第6実施例：第6実施例としての動力伝達装置10Bについて説明する。図52は動力伝達装置10Bの概略構成を示す説明図である。第6実施例の動力伝達装置10Bは第1実施例の動力伝達装置10とほぼ同じ構成である。動力伝達装置10Bに適用されるモータは第1実施例の電動機100とほぼ同様の構成をなしている。但し、第1実施例ではアウタロータ170に巻回されたコイルは単体で回路を形成するように閉じている。これに対し、本実施例の電動機100のアウタロータ170に巻回されたコイルは外部から三相交流を通電可能に巻回されている点で相違する。駆動回路20は第1実施例の動力伝達装置10の場合と同様、電動機100に三相交流を流す。図52では、図示の都合上、駆動回路20と電動機100との間の電線を1本の線でまとめて示した。電動機100に流れる電流は電流センサ32、フィルタ34およびADC36によりECU12が処理可能な信号として取り込まれる。電流センサ32、フィルタ34およびADC36は図示の都合上それぞれ一つの要素として示したが、実際には第1実施例の動力伝達装置10と同様、それぞれU相、V相の電流を取り扱うセンサ等が対になって備えられている。また、駆動回路20はECU12と接続されており、駆動回路20のスイッチングを制御するための4本の制御信号がECU12から入力可能となっている。図52では図示の都合上、これらの制御信号を1本の線でまとめて示した。

【0169】第6実施例では、上述の構成に加えて、さらに駆動回路21がバッテリ30および電動機100に接続されている。駆動回路21は駆動回路20と同様、電動機100に電流を流すための回路であり、トランジスタインバータ(図14参照)で構成されている。また、駆動回路21が追加されたことに伴って、電流センサ33、フィルタ35、ADC37がそれぞれ追加され、ECU12の入力ポート17に接続されている。これらの要素は駆動回路21により電動機100に流される電流をECU12が処理可能な信号として取り込むた

めのものである。電流センサ33、フィルタ35、ADC37は図示の都合上それぞれ一つの要素として示したが、実際にはそれぞれU相、V相の電流を取り扱うセンサ等が対になって備えられている。また、駆動回路21はECU12と接続されており、駆動回路21のスイッチングを制御するための4本の制御信号がECU12から入力可能となっている。図52では図示の都合上、これらの制御信号を1本の線でまとめて示した。

【0170】駆動回路20、21と電動機100との接続の様子を図53に示す。図示する通り、駆動回路20は電動機100のステータ140に巻回されたコイルに接続されている。駆動回路21は電動機100のアウタロータ170に巻回されたコイルに接続されている。アウタロータ170への通電は、スリップリング40を介して行われる。スリップリング40に代えて、差動トランス等を用いるものとしてもよい。

【0171】かかる構成を有する動力伝達装置10Bは、駆動回路20による電流を制御することで第1実施例の動力伝達装置10と同様の機能を奏することができる。第1実施例の動力伝達装置10では、アウタロータ170の巻線に生じる電流はインナロータ110の回転等に起因する誘導起電力に基づくものであった。第7実施例の動力伝達装置10Bでは、かかる誘導起電力に基づく電流に加えて、駆動回路21によりアウタロータ170に電流を流すことができる。従って、アウタロータ170に生じる磁界とインナロータ110からステータ140を貫通して形成される磁気回路との相互作用を高い自由度で制御することができる。

【0172】例えば、駆動回路21のスイッチングを制御することによりアウタロータ170のコイルにはインナロータ110の回転に伴う誘導電流を流すことができる。このときアウタロータ170は誘導機のロータとして機能する。一般に誘導機ではアウタロータのすべりによって損失が生じる。上記実施例の動力伝達装置10Bでは、アウタロータ170に流れる電流を制御することによりこのすべりによる損失を抑制することができる。かかる制御は種々の方法により実現可能である。本実施例では、電動機100の回転数およびトルクに応じて最も損失が小さくなる各相の電流値を予めECU12のROM14内にマップとして記憶し、このマップに従ってアウタロータ170のコイルに電流を流すものとしている。かかる制御を行うことにより、上記動力伝達装置10Bはアウタロータ170のすべりに基づく損失を抑制し、高い力率・効率で電動機100を運転することができる。

【0173】また、アウタロータ170とステータ140との間で一種の同期モータを構成することもできる。従って、アウタロータ170に流れる電流を制御することにより、アウタロータ170から出力されるトルクの大きさを制御することが可能となる。また、正のトルク

を出力可能な電流をアウタロータ170に流すことにより、アウタロータ170を増速して回転させることができ、従って、上記動力伝達装置10Bはインナロータ110よりも高い回転数でアウタロータ170を回転させることができが比較的容易に実現できる。本実施例では、アウタロータ170とインナロータ110の回転数およびトルクに応じてアウタロータ170に流す電流を予めマップとしてROM14内に記憶し、このマップに従って通電することにより上記制御を実現している。このマップは、ステータ140に巻回されたコイルにより生じる磁界のみならずインナロータ110により生じる磁界およびその回転によりアウタロータ170の巻線に生じる誘導起電力を考慮して設定されている。

【0174】以上で説明した第6実施例の動力伝達装置では、第1実施例の電動機100とほぼ同じ構成を有する電動機を用いた。これに対し、電動機100に代えて先に説明した種々の実施例の電動機をそれぞれ用いることが可能である。第6実施例では、アウタロータ170に通電するものとしているが、インナロータ110が巻線を有している場合には、インナロータ110に通電するものとしても構わない。

【0175】(9) 第7実施例：次に本発明の動力伝達装置10を適用したハイブリッド車両を第7実施例として説明する。図54は第7実施例のハイブリッド車両の駆動系統について、構成を示す説明図である。図示する通り、このハイブリッド車両の駆動系統は、エンジン602およびその運転を制御するためのEFI-ECU620と、動力伝達装置10とから構成されている。

【0176】エンジン602は通常のガソリンエンジンである。エンジン602のクランクシャフト604は、ダンバ606を介して、動力伝達装置10に備えられた電動機100のインナロータ軸102に結合されている。ダンバ606は電動機100の慣性等に起因するクランクシャフト604およびインナロータ軸102のねじり振動を防止するためのものである。電動機100のアウタロータ軸104は駆動軸610に結合されている。図54では、図示を省略したが、駆動軸610は減速ギヤ等を介して駆動輪に動力を伝達可能に結合されている。

【0177】動力伝達装置10の構成は図13により説明したものと同じである。図54では、電動機100の運転を駆動するための駆動回路20、電動機100と電力のやりとりを行うためのバッテリ30、電動機100の運転を制御するためのECU12のみを示した。なお、第7実施例のハイブリッド車両において、ECU12は動力伝達装置10の制御のみならずハイブリッド車両の駆動系統全体の制御も行っている。図54に示す通り、ECU12はEFI-ECU620と電気的に接続されている。ECU12は、EFI-ECU620に対してエンジン602の運転に関する指令値を出力することに

より、間接的にエンジン602の運転も制御しているのである。かかる制御を実行可能とするために、ECU12には図54で図示していない種々のセンサやスイッチが接続されている。かかるセンサとしては、例えばアクセルペダルポジションセンサやシフトポジションセンサ等が挙げられる。

【0178】ハイブリッド車両が走行する際には、駆動軸610から要求に沿った回転数およびトルクで動力を出力する必要がある。ECU12は、アクセルペダルポジションセンサで検出されるアクセルの踏み込み量等に応じて要求トルクおよび回転数を算出する。また、両者の積により出力すべき動力の大きさを求める。バッテリ30の電力を消費することなく走行するためには、要求された動力をエンジン602から出力する必要がある。エンジン602はかかる動力に相当する種々の回転数およびトルクで運転可能である。ハイブリッド車両を効率よく運転するために、ECU12はこうした種々の運転ポイントから最も運転効率の高いトルクおよび回転数を選択する。そして、その運転ポイントをエンジン602の運転指令値としてEFI-ECU620に出力する。この結果、エンジン602は設定された運転ポイントで運転するように制御される。

【0179】かかる状態で運転されるエンジン602から出力される動力は要求された動力と大きさは等しいが、回転数およびトルクは必ずしも一致するとは限らない。従って、ECU12は動力伝達装置10の運転を制御してエンジン602から出力される動力を要求された回転数およびトルクに変換して駆動軸610に伝達する。

【0180】かかるトルク変換の制御方法については、「(3) 動力伝達装置の作動原理」として既に説明した通りである。電動機100のコイル144に流す励磁電流およびトルク電流を制御することにより、トルク変換を行うのである。かかる制御を実行することにより第7実施例のハイブリッド車両はエンジン602を駆動源として走行することができる。

【0181】なお、「(3) 動力伝達装置の作動原理」において、本実施例の動力伝達装置10はバッテリ30との電力のやりとりを伴う形で動力を伝達することも可能であることを説明した。例えば、インナロータ軸102から入力された動力の一部又は全部を電力として回生しつつ、残余の動力をアウタロータ軸104に伝達することが可能である。従って、第7実施例のハイブリッド車両では、駆動軸610から出力すべき動力よりも大きい動力を出力するようにエンジン602を運転すれば、余剰の動力を動力伝達装置10で回生してバッテリ30を充電しながら走行することも可能である。また、電動機100の電流の制御によって、磁界を先に図20に示した状態にすれば、アウタロータ軸104に動力が伝達されない状態を作ることもでき、ハイブリッド車両が停

止したままでも、エンジン602を運転してバッテリ30を充電することができる。

【0182】既に説明した通り、本実施例の動力伝達装置10はバッテリ30からの電力の供給を受けて電動機100を力行し、インナロータ軸102から入力される動力の有無に関わらずアウタロータ軸104から動力を出力することも可能である。従って、本実施例のハイブリッド車両では、例えばエンジン602を停止したままでも電動機100から出力されるトルクによって車両を走行することも可能である。もちろん、エンジン602をある運転ポイントで運転している場合に、電動機100を力行してトルクアシストすることも可能である。

【0183】また、本実施例の動力伝達装置10はアウタロータ軸104を動力の入力軸としても機能し得るものである。従って、本実施例のハイブリッド車両は、駆動輪の回転を電動機100で電力として回生することにより、いわゆる回生制動をかけることも可能である。また、駆動輪の回転をインナロータ軸102に伝達して、いわゆるエンジンブレーキをかけることも可能である。

【0184】当然、本実施例の動力伝達装置10はバッテリ30からの電力の供給を受けて電動機100を力行し、インナロータ軸102を回転させることも可能である。従って、電動機100をエンジン602のスタータモータとして用いることもできる。

【0185】なお、図54では、ハイブリッド車両として、第1実施例の電動機100を用いた場合を示したが、その他各実施例で説明した電動機200、300、400、500をそれぞれ適用可能であることは言うまでもない。

【0186】以上、本発明の電動機、動力伝達装置、およびハイブリッド車両について種々の実施例を説明したが、本発明はその要旨を変更しない範囲でさらに種々の形態により実施することが可能である。例えば、ハイブリッド車両は、本発明の電動機および動力伝達装置を適用した一例に過ぎない。本発明の動力伝達装置は種々の原動機と結合することにより、いわゆる動力出力装置として機能し得るものである。この動力出力装置は、上述したハイブリッド車両の他、列車等の輸送機や工作機械など、所定の回転数およびトルクからなる動力が要求される種々の装置に適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施例としての電動機の回転軸に直交する断面における断面図である。

【図2】第1実施例としての電動機の回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図3】第1実施例としての電動機のインナロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図4】第1実施例としての電動機のステータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図5】第1実施例としての電動機のアウタロータの回

転軸に直交する断面における断面図である。

【図6】第1実施例としての電動機のインナロータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図7】第1実施例としての電動機のステータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図8】第1実施例としての電動機のアウタロータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図9】第1実施例としての電動機のインナロータの斜視図である。

【図10】第1実施例としての電動機のステータコアの斜視図である。

【図11】第1実施例としての電動機のステータの斜視図である。

【図12】第1実施例としての電動機のアウタロータの結線の様子を示す説明図である。

【図13】第1実施例としての動力伝達装置の構成を示す説明図である。

【図14】動力伝達装置の駆動回路を示す回路図である。

【図15】第1実施例としての電動機における磁気回路を示す説明図である。

【図16】従来の電動機における磁気回路を示す説明図である。

【図17】第1実施例としての電動機の作動時における第1の状態を示す説明図である。

【図18】誘導機における出力トルクとすべり量との関係を示すグラフである。

【図19】本実施例の電動機における出力トルクの変化を示す説明図である。

【図20】第1実施例としての電動機の作動時における第2の状態を示す説明図である。

【図21】第2実施例としての電動機の回転軸に直交する断面における断面図である。

【図22】第2実施例としての電動機の回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図23】第2実施例としての電動機のインナロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図24】第2実施例としての電動機のステータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図25】第2実施例としての電動機のアウタロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図26】第2実施例としての電動機のインナロータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図27】第2実施例としての電動機のステータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図28】第2実施例としての電動機のアウタロータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図29】第3実施例としての電動機の回転軸に直交する断面における断面図である。

【図30】第3実施例としての電動機のインナロータの

回転軸に直交する断面における断面図である。

【図31】第3実施例としての電動機のステータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図32】第3実施例としての電動機のアウタロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図33】第3実施例としての電動機のインナロータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図34】第3実施例の電動機を用いた動力伝達装置10Aの構成を示す説明図である。

【図35】第3実施例の電動機のインナロータと第2インナロータの結合に関する制御の流れを示すフローチャートである。

【図36】第4実施例としての電動機の回転軸に直交する断面における断面図である。

【図37】第4実施例としての電動機の回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図38】第4実施例としての電動機のインナロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図39】第4実施例としての電動機のステータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図40】第4実施例としての電動機のアウタロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図41】第4実施例としての電動機のインナロータの斜視図である。

【図42】第4実施例としての電動機のロータピッチの制御の流れを示すフローチャートである。

【図43】第5実施例としての電動機の回転軸に直交する断面における断面図である。

【図44】第5実施例としての電動機の回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図45】第5実施例としての電動機のインナロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図46】第5実施例としての電動機のステータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図47】第5実施例としての電動機のアウタロータの回転軸に直交する断面における断面図である。

【図48】第5実施例としての電動機のインナロータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図49】第5実施例としての電動機のステータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図50】第5実施例としての電動機のアウタロータの回転軸に沿う方向の断面における断面図である。

【図51】第5実施例としての電動機のアウタロータの結線の様子を示す説明図である。

【図52】第6実施例としての動力伝達装置10Bの構成を示す説明図である。

【図53】第6実施例としての動力伝達装置の構成における駆動回路とモータ100との接続を示す説明図である。

【図54】第7実施例としてのハイブリッド車両の構成

を示す説明図である。

【図55】従来のハイブリッド車両の構成を示す説明図である。

【図56】2つの回転軸を有する従来の電動機の回転軸に直交する断面における断面図である。

【符号の説明】

10, 10A, 10B…動力伝達装置

12…ECU

13…CPU

14…ROM

15…RAM

16…クロック

17…入力ポート

18…出力ポート

20, 21…駆動回路

22, 23…電流センサ

24, 25…フィルタ

26, 27…ADC

30…バッテリ

32, 33…電流センサ

34, 35…フィルタ

36, 37…ADC

40…スリップリング

100…第1実施例の電動機

102…インナロータ軸

104…アウタロータ軸

106, 107, 108…軸受け

110…第1実施例のインナロータ

112…インナロータコア

114…永久磁石

116…ボルト

118…アルミケース

120…フタ

122…ボルト

140…第1実施例のステータ

142…ステータコア

144…コイル

146…ボルト

147, 148…フランジ

149…ピン

150…樹脂モールド

170…第1実施例のアウタロータ

172…アウタロータコア

174…コイル

176…ケース

177…フランジ

178…固定用リング

200…第2実施例の電動機

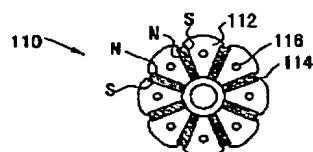
202…インナロータ軸

204…アウタロータ軸

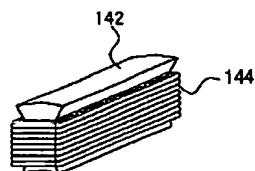
206, 207, 208…軸受け
 210…第2実施例のインナロータ
 212…インナロータコア
 214…永久磁石
 216…ボルト
 240…第2実施例のステータ
 242…ステータコア
 244…コイル
 247, 248…フランジ
 270…第2実施例のアウタロータ
 272…アウタロータコア
 274…永久磁石
 277…フランジ
 278…ボルト
 300…第3実施例の電動機
 302…インナロータ軸
 303…インナロータ軸回転数センサ
 304…アウタロータ軸
 305…アウタロータ軸回転数センサ
 306…クラッチディスク
 308…クラッチ
 310…第3実施例のインナロータ
 312…インナロータコア
 314…ロータバー
 316…永久磁石
 318…第2インナロータコア
 340…第3実施例のステータ
 342…ステータコア
 344…コイル
 370…第3実施例のアウタロータ
 372…アウタロータコア
 374…永久磁石
 377…フランジ
 400…第4実施例の電動機

402…インナロータ軸
 404…アウタロータ軸
 406…アクチュエータ
 410, 410A, 410B…第4実施例のインナロータ
 412…インナロータコア
 414…永久磁石
 440…第4実施例のステータ
 442A, 442B…ステータコア
 444A, 444B…コイル
 446A, 446B…ガイド部
 470…第2実施例のアウタロータ
 472…アウタロータコア
 474…ロータバー
 500…第5実施例の電動機
 502…インナロータ軸
 504…アウタロータ軸
 506, 507, 508…軸受け
 510…第5実施例のインナロータ
 512…インナロータコア
 514…永久磁石
 540…第5実施例のステータ
 542…ステータコア
 544…コイル
 547, 548…フランジ
 570…第5実施例のアウタロータ
 572…アウタロータコア
 574…コイル
 602…エンジン
 604…クランクシャフト
 606…ダンパー
 610…駆動軸
 620…E F I E C U

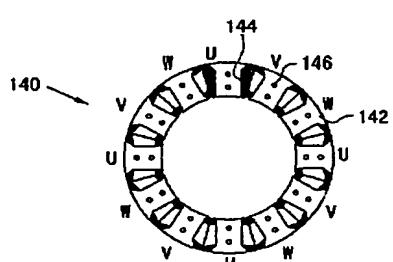
【図3】



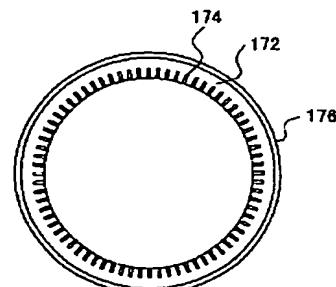
【図10】



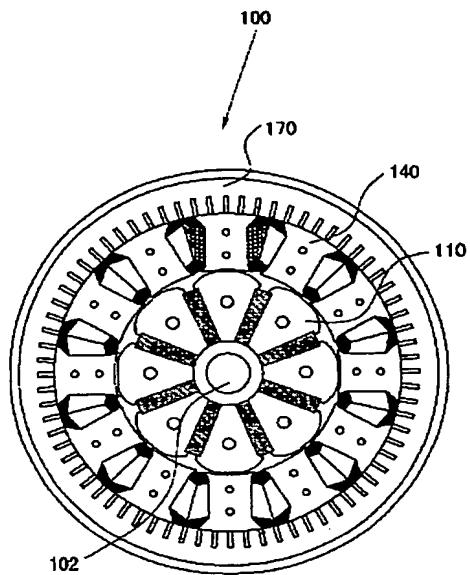
【図4】



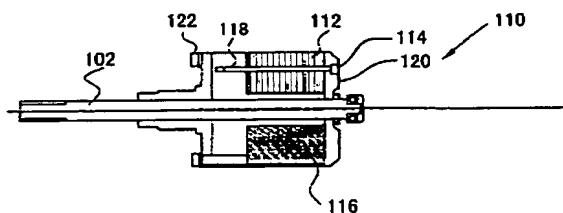
【図5】



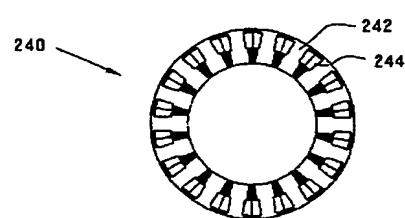
【図1】



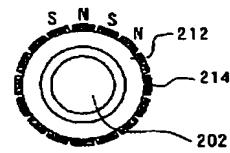
【図6】



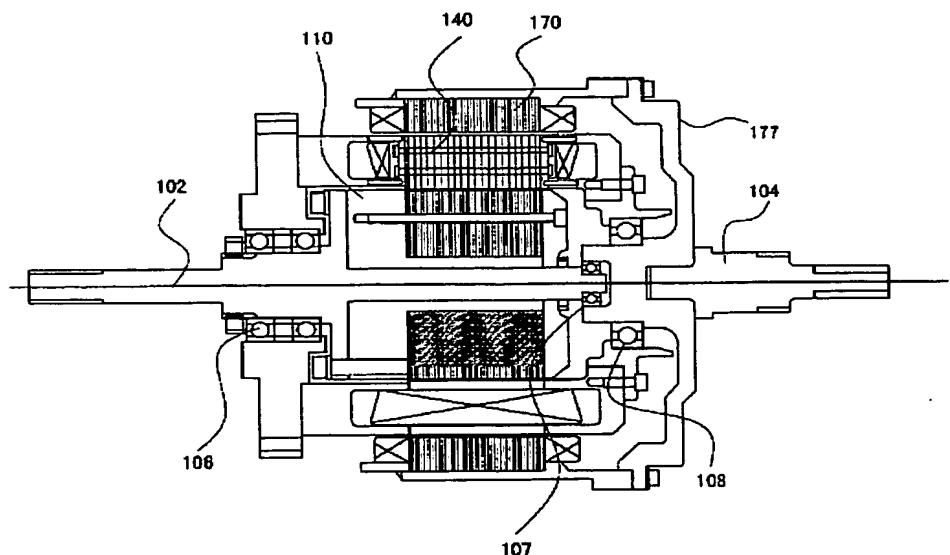
【図24】



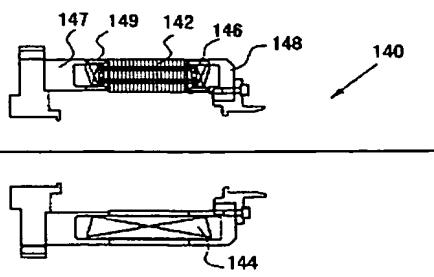
【図23】



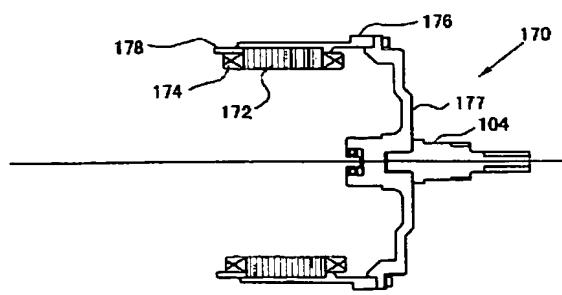
【図2】



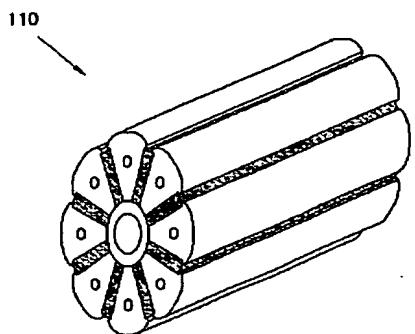
【図7】



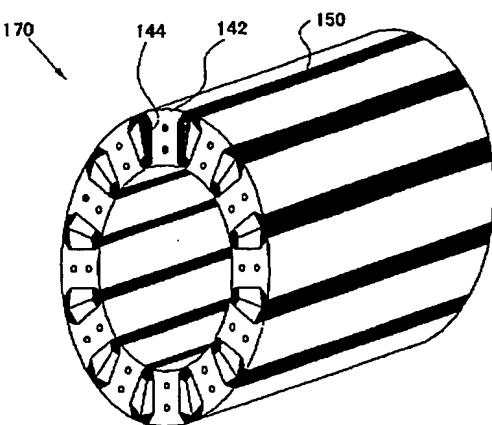
【図8】



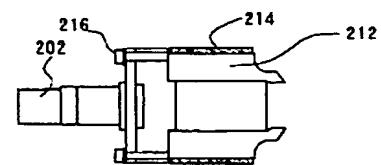
【図9】



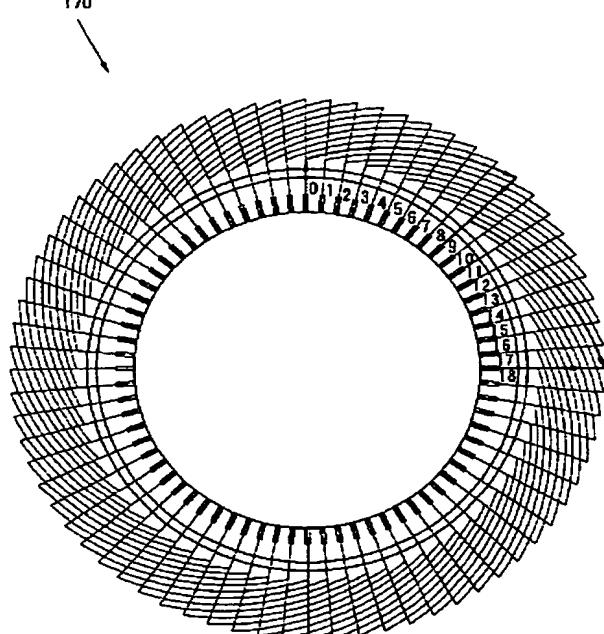
【図11】



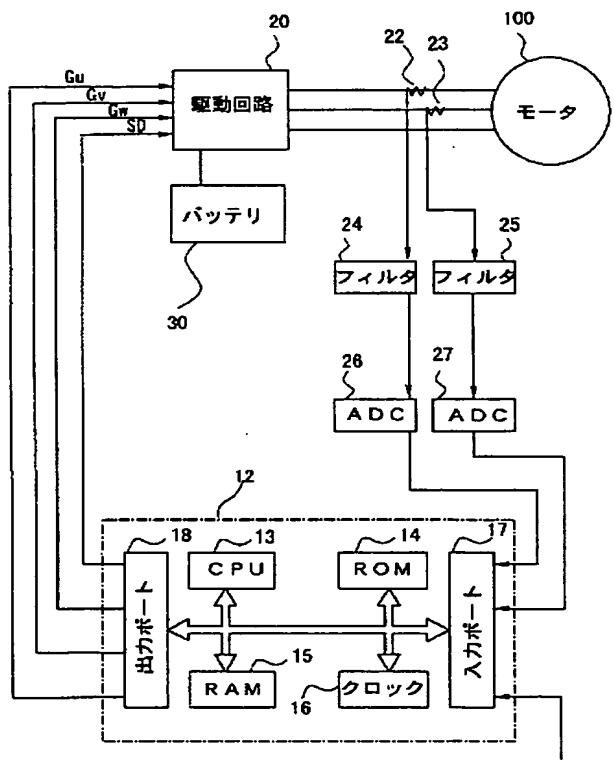
【図26】



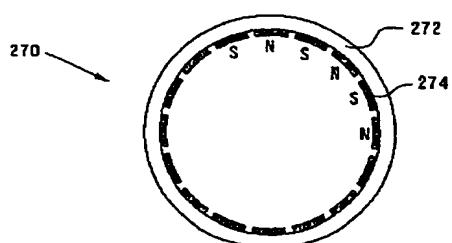
【図12】



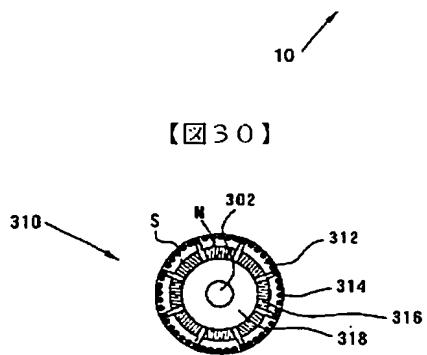
【図13】



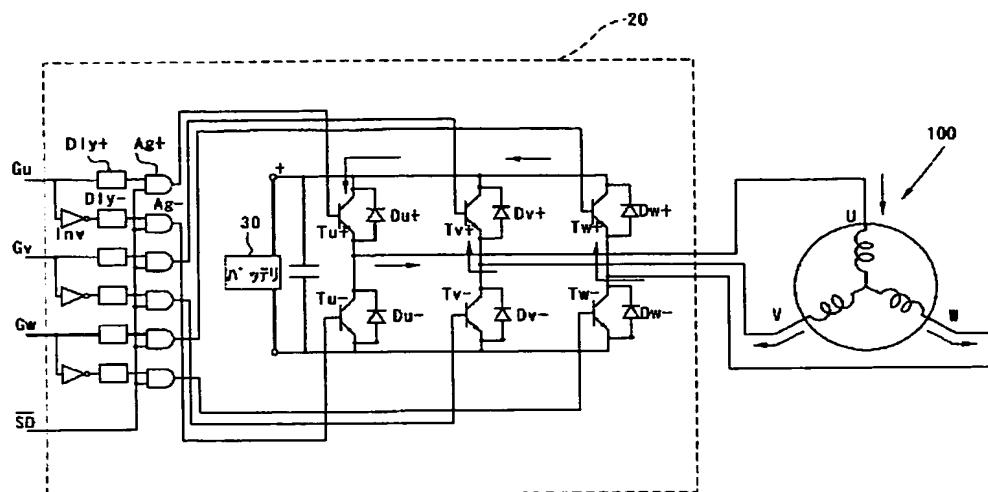
【図25】



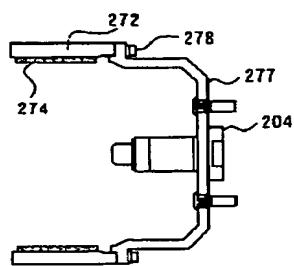
【図30】



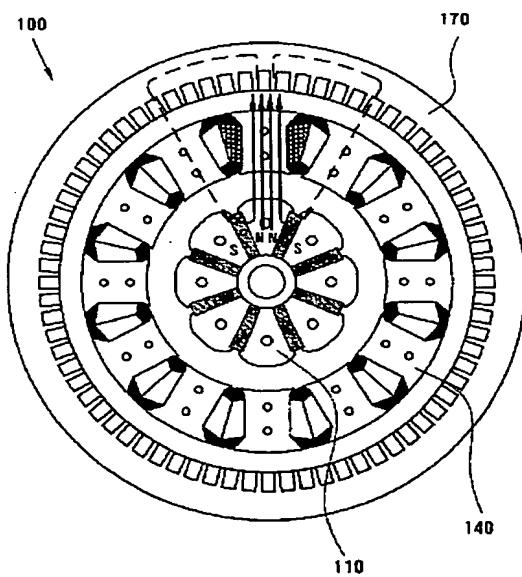
【図14】



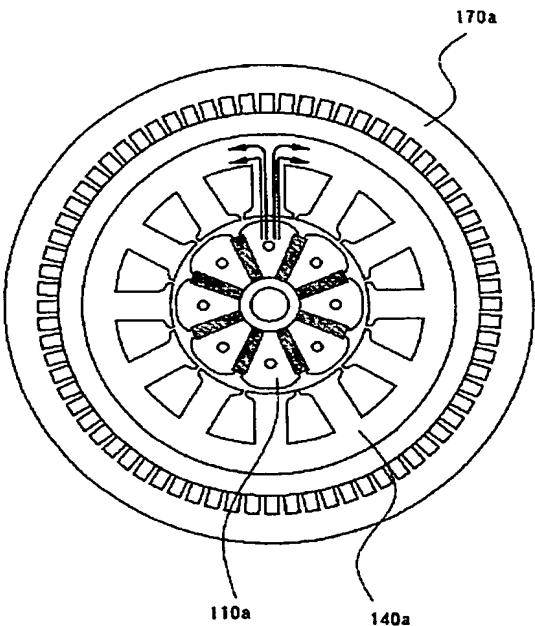
【図28】



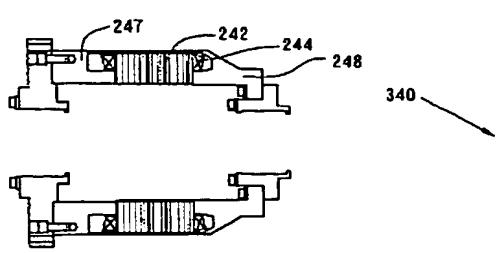
【図15】



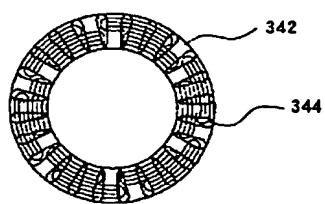
【図16】



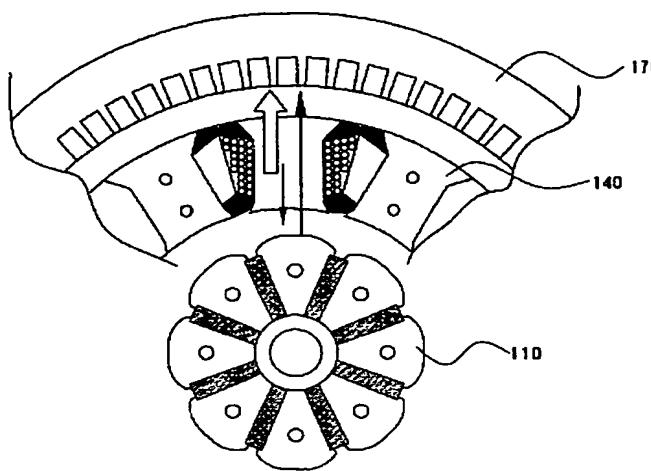
【図27】



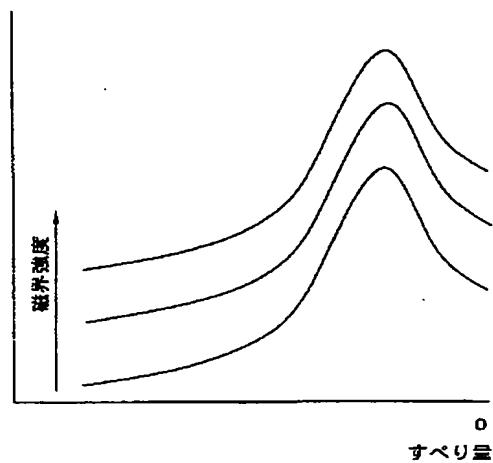
【図31】



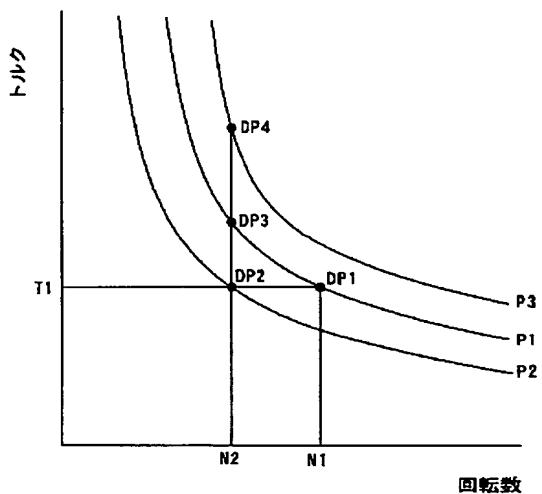
【図17】



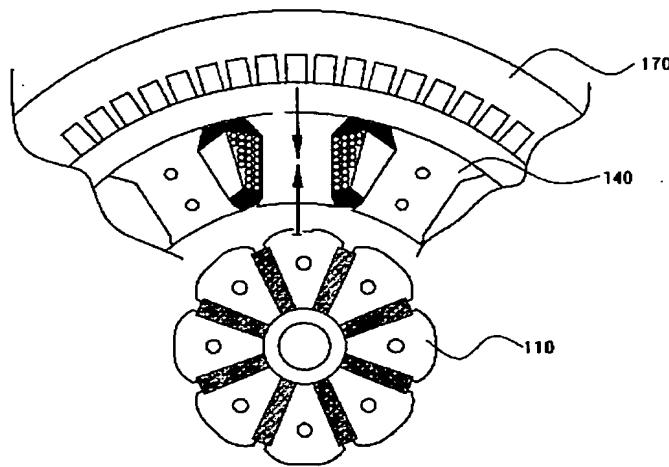
【図18】



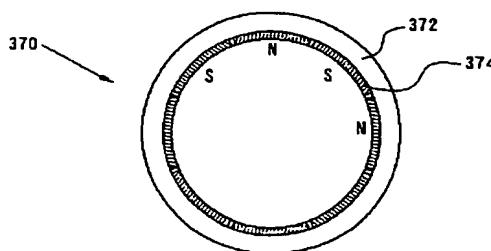
【図19】



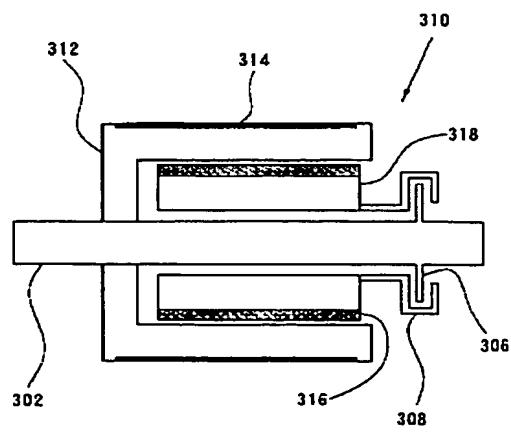
【図20】



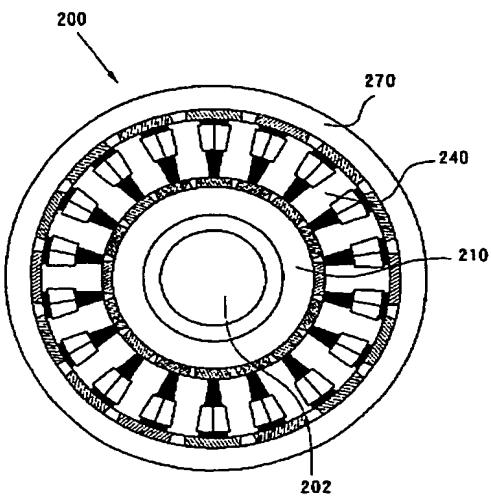
【図32】



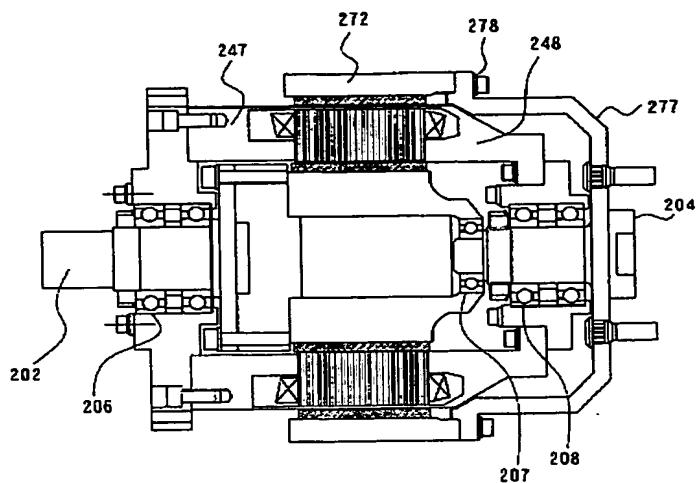
【図33】



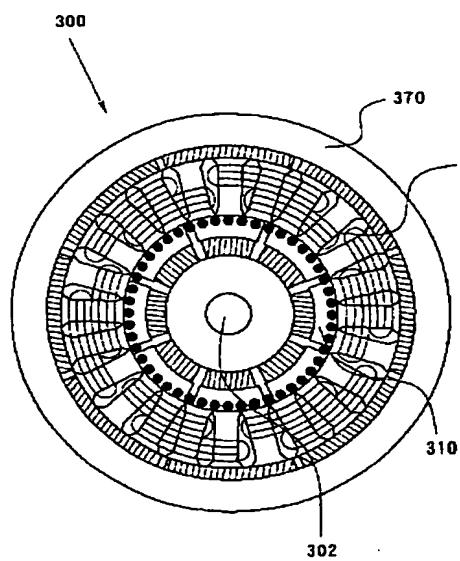
【図21】



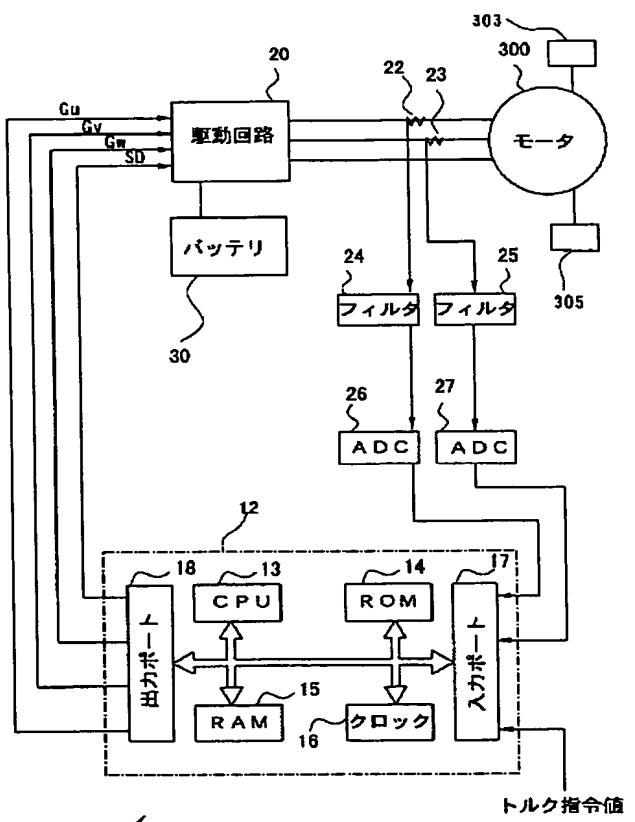
【図22】



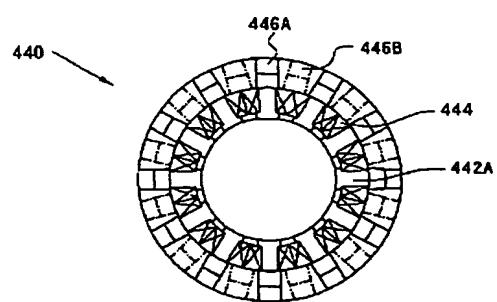
【図29】



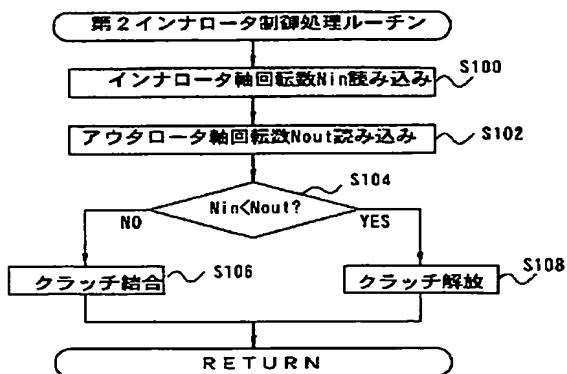
【図34】



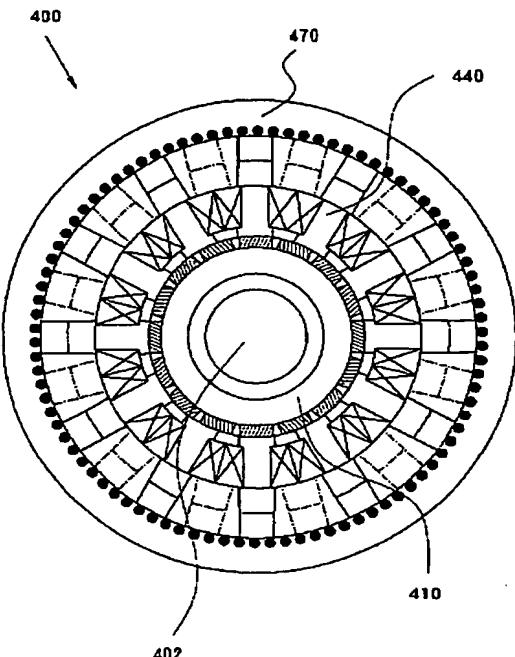
【図39】



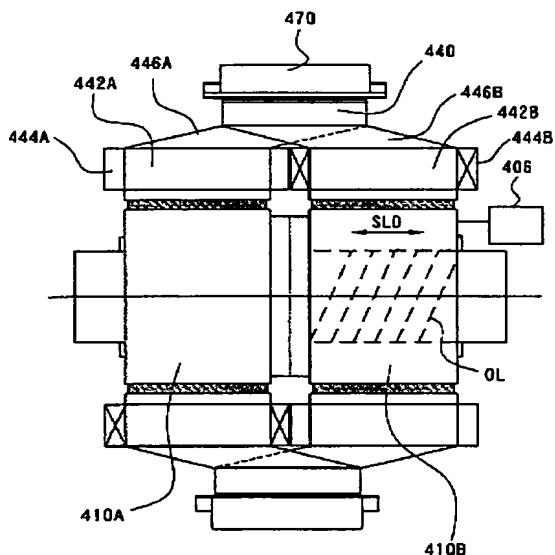
【図35】



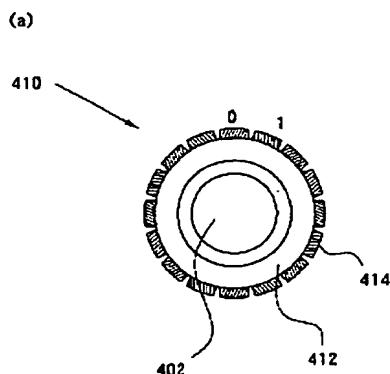
【図36】



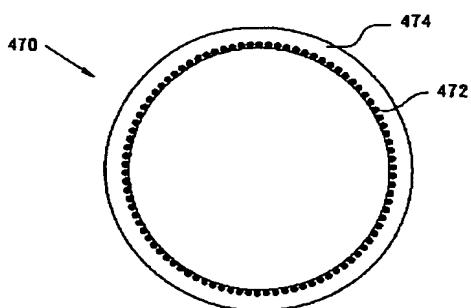
【図37】



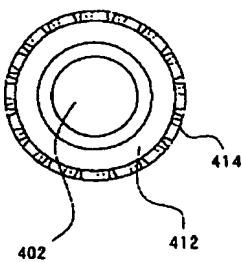
【図38】



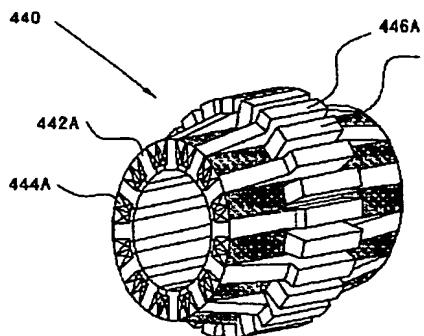
【図40】



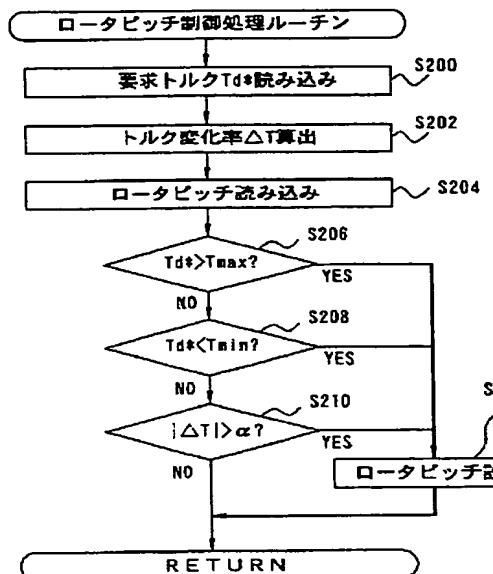
(b)



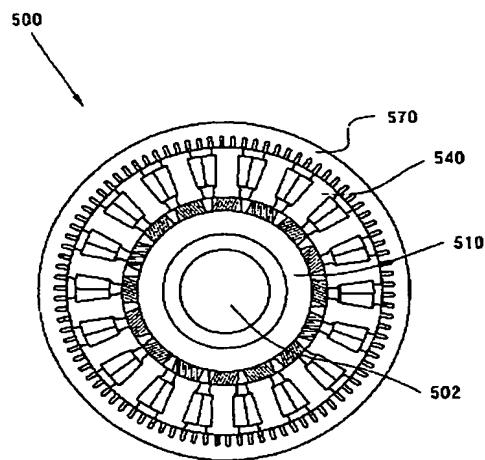
【図41】



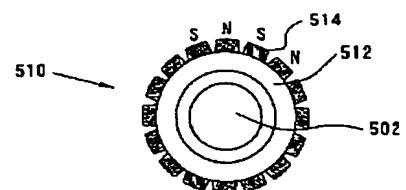
【図42】



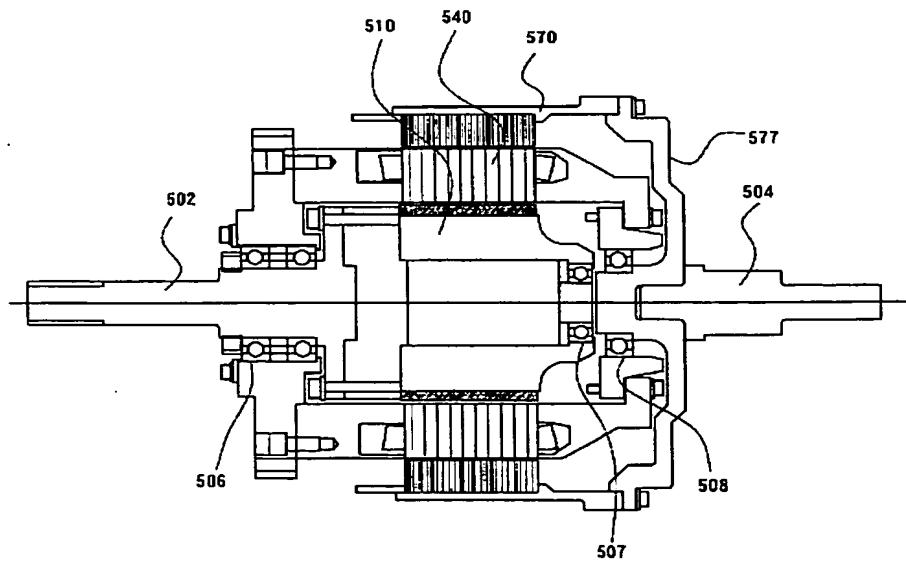
【図43】



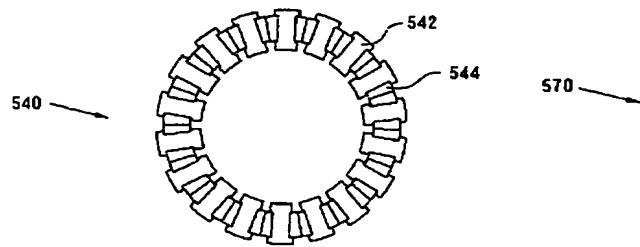
【図45】



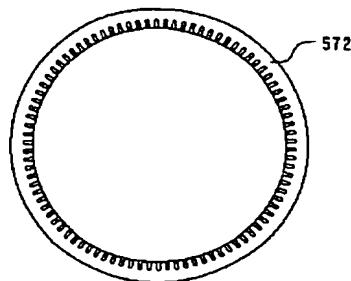
【図44】



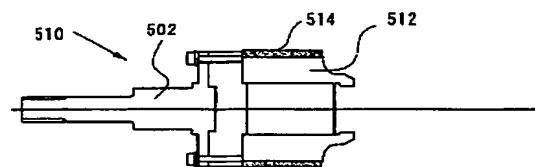
【図46】



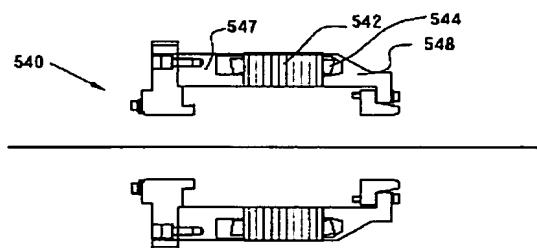
【図47】



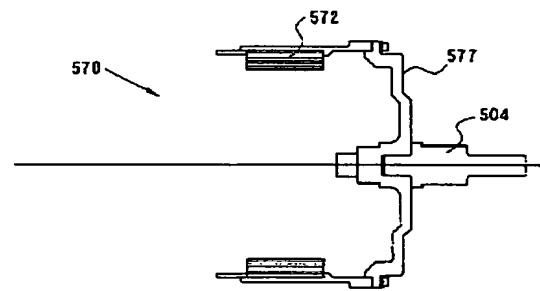
【図48】



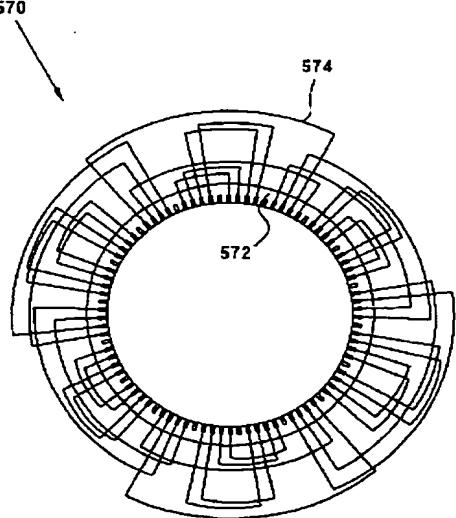
【図49】



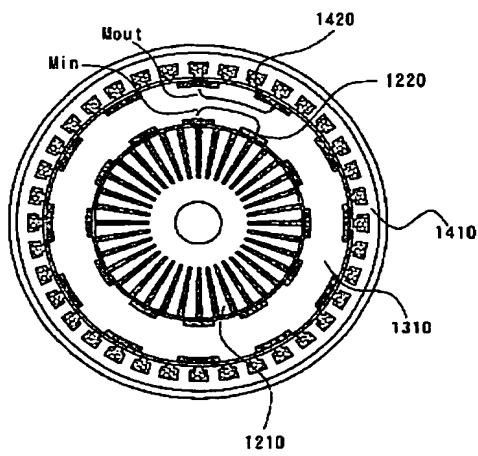
【図50】



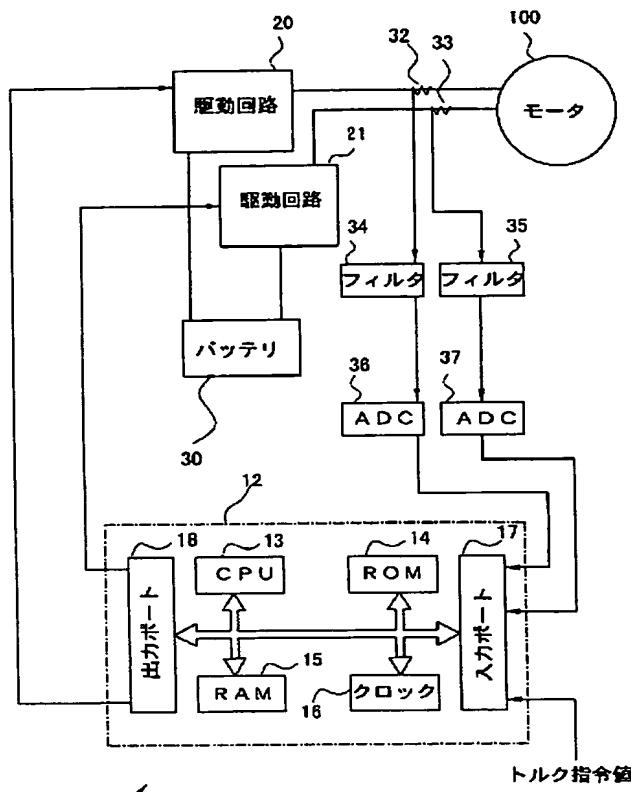
【図51】



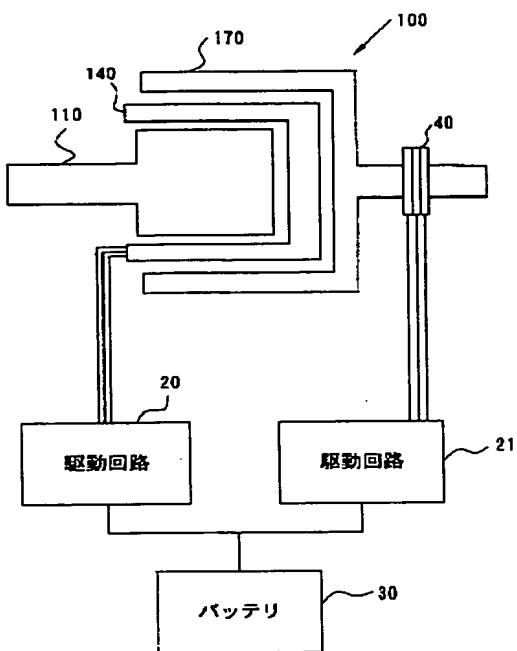
【図56】



【図52】



【図53】



〔图55〕

【图54】

